

**XLII Международная молодёжная  
научная конференция**

# **Гагаринские чтения – 2016**

**Сборник тезисов докладов**

**Том 3**

**Москва  
12-15 апреля 2016 г.**

УДК 629.7.02  
ББК 39.53  
Г12

**Г12 Гагаринские чтения – 2016:** XLII Международная молодёжная научная конференция: Сборник тезисов докладов: В 4 т. М.: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2016.

**ISBN 978-5-90363-072-1**

Т. 3: М.: Моск. авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2016. 750 с.

**ISBN 978-5-90363-069-1**

В сборник включены тезисы докладов, представленные в организационный комитет конференции в электронном виде в установленные сроки и отвечающие требованиям.

Тезисы распределены по разделам в соответствии с направлениями и секциями конференции, указанными авторами при подаче заявок.

**УДК 629.7.02  
ББК 39.53**

ISBN 978-5-90363-069-1 (т. 3)  
ISBN 978-5-90363-072-1

©Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет), 2016

## Участникам и гостям XLII Международной молодёжной научной конференции «Гагаринские чтения»

*Дорогие друзья!*

*На протяжении многих лет «Гагаринские чтения» являются для молодых исследователей площадкой для обсуждения научных исследований в области инновационных аэрокосмических технологий. В 2016 году в связи с объединением МАИ и МАТИ мероприятие вышло на новую орбиту – теперь оно объединено с традиционной Московской молодёжной конференцией «Инновации в авиации и космонавтике».*

*В этом году «Гагаринские чтения» приурочены к знаменательному событию: 55 лет назад один человек, впервые полетевший в космос, доказал всему человечеству, что ничего невозможного для нас не существует. Наша цель состоит в том, чтобы расширять границы, стремиться к чему-то большему, познавать Вселенную и, как бы пафосно это не звучало, постигать основы мироздания.*

*Яснее всего это понимают молодые учёные – из года в год число пытливых, любознательных и талантливых участников «Гагаринских чтений» продолжает расти. В 2016 году более 2 000 человек из 18 стран мира заявили о себе на нашей конференции; на 58 секций поданы заявки из 38 городов России. В двух школьных секциях заявлены работы 200 учащихся – юных исследователей, чей интерес к науке, а особенно к инновационным аэрокосмическим технологиям, только разгорается.*

*Искра же этого интереса – труд научных наставников и преподавателей. Вас я хотел бы поблагодарить отдельно, ведь значимость ваших знаний и опыта неоценима. Ваша поддержка – важнейшее условие успеха молодых талантов.*

*Я желаю участникам конференции помнить о великом свершении Юрия Гагарина и знать – для вас нет преград. Смотрите в будущее и идите вперёд, не сомневаясь в своих способностях. Ваши идеи укрепят фундаментальные основы нашей отечественной науки.*

*И.о. ректора*



*В.А. Шевцов*

## **Организатор**

Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет)

## **Генеральный партнёр**

Холдинг «Технодинамика»

## **Партнёр**

АО «Объединённая двигателестроительная корпорация»

## **Программный комитет**

**Шевцов В.А.** – председатель Программного комитета;  
**Агульник А.Б.** – декан факультета «Двигатели летательных аппаратов» МАИ;  
**Беспалов А.В.** – директор института материаловедения и технологий материалов МАИ;  
**Гетманов А.Г.** – декан факультета довузовской подготовки МАИ;  
**Голов Р.С.** – директор института менеджмента, экономики и социальных технологий МАИ;  
**Ефремов А.В.** – декан факультета «Авиационная техника» МАИ;  
**Иосифов П.А.** – директор института аэрокосмических конструкций, технологий и систем управления МАИ;  
**Кирдяшкин В.В.** – декан факультета «Радиоэлектроника летательных аппаратов» МАИ;  
**Ковалёв К.Л.** – заведующий кафедрой «Электроэнергетические, электромеханические и биотехнические системы» МАИ;  
**Костиков Ю.А.** – директор института информационных систем и технологий МАИ;  
**Крылов С.С.** – декан факультета «Прикладная математика и физика» МАИ;  
**Следков Ю.Г.** – декан факультета «Системы управления, информатика и электроэнергетика» МАИ;  
**Тихонов А.И.** – директор ИНЖЭКИН МАИ;  
**Тушавина О.В.** – и.о. декана факультета «Аэрокосмический» МАИ.

## **Рабочая группа**

**Шемяков А.О.** – начальник управления инноваций, стратегии и коммуникаций МАИ, руководитель рабочей группы;  
**Некрасова Р.Г.** – инженер отдела по связям с общественностью МАИ, заместитель руководителя рабочей группы;  
**Полянский В.В.** – председатель Совета по НИРС, заместитель руководителя рабочей группы;  
**Данилин А.А.** – начальник управления по воспитательной работе и социальным вопросам;  
**Долгова М.И.** – заместитель начальника научного управления;  
**Киндюкова И.А.** – начальник управления довузовской подготовки.

Холдинг «Технодинамика» (Госкорпорация Ростех) - поставщик первого уровня для предприятий авиационной промышленности и лидер российского рынка авиационного оборудования. К 2020 году «Технодинамика» планирует войти в пятерку крупнейших мировых производителей авиационных систем.



Однако, цель холдинга - не только соответствовать лучшим мировым стандартам, но и задавать новые. В 2014 году был открыт уникальный Центр проектирования, работающий с применением технологий системного инжиниринга. Уже сегодня Центр считается одним из лучших мест для самореализации и карьерного роста.

Специалисты компании работают над инновационными и масштабными проектами, не имеющими аналогов на российском и мировом рынке. Руководство холдинга обеспечивает талантливых сотрудников, готовых расти вместе со своей компанией, не только интересными задачами, но и всеми необходимыми условиями для комфортной и продуктивной работы.

*Если для вас авиационное дело - это больше, чем профессия, а такие ценности как новаторство, ответственность и идейность – часть жизненного кредо, холдинг «Технодинамика» - это ваша компания!*

**HR служба тел.: +7 (495) 627-10-99 e-mail: [hr@technodinamika.ru](mailto:hr@technodinamika.ru)**





# **ЕДИНСТВО ВО МНОЖЕСТВЕ**



АО «Объединенная  
двигателестроительная корпорация»  
Россия, 10518, г. Москва, проспект Буденного, д.6  
[www.uecrus.com](http://www.uecrus.com) e-mail: [info@uecrus.com](mailto:info@uecrus.com)



## Содержание

СЕКЦИЯ № 13. Автоматизированное проектирование летательных аппаратов..	8
СЕКЦИЯ № 14. Информационно-управляющие и человеко-машинные системы .....	23
СЕКЦИЯ № 15. Информационные технологии в инженерном образовании.....	48
СЕКЦИЯ № 16. Конструкция и расчёт энергетических силовых установок летательных аппаратов .....	86
СЕКЦИЯ № 17. Наземная и лётная обработка и испытания летательных аппаратов.....	121
СЕКЦИЯ № 18. Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии ....	153
СЕКЦИЯ № 19. Теория, конструкция и технология аэрокосмического приборостроения .....	171
СЕКЦИЯ № 20. Технология изготовления и сборки летательных аппаратов ..	209
СЕКЦИЯ № 21. Технологии обработки материалов высококонцентрированными потоками энергий .....	235
СЕКЦИЯ № 22. Технология производства двигателей и агрегатов летательных аппаратов .....	276
СЕКЦИЯ № 44. Аэродинамика, динамика авиационных ЛА.....	325
СЕКЦИЯ № 45. Проектирование, конструирование и производство авиационных ЛА.....	347
СЕКЦИЯ № 46. Материаловедение и технологии металлических материалов	367
СЕКЦИЯ № 47. Полимерные и углеродные композиционные материалы, аэрокосмические конструкции и микросистемы .....	436
СЕКЦИЯ № 48. Технологические процессы и системы автоматизированного проектирования металлургических процессов .....	498
СЕКЦИЯ № 49. Управление качеством и сертификация .....	539
СЕКЦИЯ № 50. Экология, безопасность полётов и жизнедеятельности в авиации и космонавтике .....	587
СЕКЦИЯ № 51. Проектирование и конструкция авиационных двигателей и энергетических установок .....	657
СЕКЦИЯ № 52. Проектирование и конструкция ракетных двигателей и энергетических установок .....	686
СЕКЦИЯ № 53. Проектирование и конструкция электроракетных двигателей и энергетических установок .....	712
СЕКЦИЯ № 54. Технология производства двигателей, агрегатов и энергетических установок .....	723
АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ .....	740

## СЕКЦИЯ № 13. Автоматизированное проектирование летательных аппаратов

Руководитель секции: к.т.н., профессор Волхонский А.Е.

---

### Двигатель для межпланетных перемещений

Алдобаева О.С.

Научный руководитель – Бокша Л.В.

МАИ, г. Москва

Среди ученых всего мира, давно ведутся исследования в области межпланетных перемещений. Одной из таких разработок является варп-двигатель, который при реализации позволит значительно ускорить процесс изучения нашей Солнечной системы и не только. Что же такое варп-двигатель? Варп-двигатель (англ. *Warp drive*, двигатель искривления) – гипотетическая технология, которая, согласно гипотезе, позволит кораблю, оснащённому таким двигателем, преодолевать межзвёздные расстояния со скоростями, превышающими скорость света.

Первое употребление выражения «варп-движение» датируется 1966 годом, когда Джин Родденберри запустил «Звездный путь». В течение последующих тридцати лет варп существовал только в виде одной из самых устойчивых концепций научных фантастов. Пока этот сюжет не был увиден физиком Мигелем Алькуберре.

Алькуберре представил пузырь в пространстве. В передней части пузыря пространство-время сжимается, в то время как в задней части пузыря – расширяется (как во время Большого взрыва). В принципе, варп-пузырь может двигаться сколь угодно быстро: ограничение скорости света, предсказанное в рамках теории Эйнштейна, работает только с пространством-временем, а не с искажениями самого пространства-времени. В пузыре пространство-время останется неизменным, а сами космические путешественники – целыми и невредимыми.

Варп-двигатель сможет отправить путешественников не только за пределы земной орбиты, но и целой Солнечной системы. Уравнения общей теории относительности Эйнштейна очень сложны в одностороннем, но в обратную достаточно просты. Используя их, Алькуберре выяснил, что для создания варп-пузыря потребуется отрицательная энергия. Грубо говоря, для работы двигателя Алькуберре нужна отрицательная энергия, чтобы заставить пространство-время позади корабля расширяться.

И хотя никто никогда не измерял отрицательную энергию, квантовая механика предсказывает ее существование, а значит, ученые вполне могут создать ее в лаборатории. Данная модель представлялась мало осуществимой, так как созданной в лабораторных условиях энергии не хватило бы для запуска двигателя. Но ученые специалисты нашли способ обойти это ограничение. В компьютерной симуляции была изменена сила и геометрия варп-поля. Выяснилось, что в теории можно создать варп-пузырь, используя в миллион раз

меньше отрицательной энергии и достаточно для того, чтобы космический корабль мог сам ее производить.

У теории вар-путешествий есть ряд проблем, которые еще предстоит решить специалистам. Количества отрицательной энергии, которую могут создать ученые недостаточно, даже при изменении геометрии поля. Как говорят многие физики, существуют фундаментальные физические ограничения, а не только инженерные проблемы относительно того, сколько отрицательной энергии может быть сосредоточено в одном месте в течение длительного времени.

Другая проблема заключается в том, что для создания варп-пузыря, который движется быстрее скорости света, ученым придется распространить отрицательную энергию вокруг корабля, в том числе и перед ним.

Варп-двигатель – это концептуальная проблема, так как в рамках общей теории относительности путешествие быстрее скорости света эквивалентно движению сквозь время. То есть в случае создания учеными подобного двигателя - будет получена машина времени.

### **Применение альтернативных видов газового топлива на транспортных самолётах**

Гаршина А.А., Самарцева А.П.

Научный руководитель – Волхонский А.Е.

МАИ, г. Москва

В настоящее время ведутся работы по применению альтернативных видов топлива в промышленности и на транспорте, в частности – в авиации. Необходимость использования нового вида топлива обусловлена во многом проблемами экологии: человечество столкнулось с климатическими изменениями, последствия которых могут быть непредсказуемыми. Выброс двуоксида углерода, связанный с транспортировкой и промышленной активностью, является одним из самых важных факторов, влияющих на экологию. Кроме того, запасы ископаемого топлива имеют тенденцию к истощению.

Для получения наиболее эффективного альтернативного топлива проводятся исследования высококипящих углеводородных газов, их практического применения на летательных аппаратах: АСКТ – пропан-бутана, метана ( $\text{CH}_4$ ) и жидкого водорода ( $\text{LH}_2$ ). Ведущее место среди природных органических топлив занимает сжиженный природный газ (СПГ), а именно – метан.

Использование СПГ объясняется возможностью создания условий искусственной ламинаризации обтекания наружной обшивки самолета и его систем и применением экранно-вакуумной теплоизоляции топливных баков, имеющей наилучшие весовые и объемные характеристики при обеспечении требуемого теплового сопротивления для криогенных емкостей. Кроме того, использование данного топлива обусловлено безопасностью и экологической эффективностью: вследствие отсутствия кислорода в криогенных топливных баках, исключается возможность воспламенения, а большая теплота сгорания метана показывает, что СПГ существенно меньше загрязняет атмосферу: в отработанных газах наблюдается незначительное количество парниковых газов.

Основными проблемами, ограничивающими широкое использование СПГ в авиации, являются: низкая точка кипения метана, что не может не отразиться на методах обращения и теплоизоляции баков, а также небольшая плотность: от нее зависит количество топлива, размещенного на самолете. Кроме того, для использования нового вида топлива необходимо подвергнуть конструкцию изменениям и разработать криогенный авиационный комплекс, включающий в себя системы заправки, пневмопитания, энергоснабжения и др.

В данной работе рассмотрены проекты ПАО «Туполев», предусматривающие использование криогенного топлива. Представлены основные изменения в различных показателях после ввода в эксплуатацию криогенных самолетов, и рассматривается целесообразность использования альтернативного вида топлива на сегодняшний день.

Результаты исследований показали, что цель работы – определение возможности использования СПГ на транспортных самолетах в качестве топлива – достигнута. Применение СПГ будет способствовать улучшению многих показателей, а значит – открывает новые возможности для авиации.

## **Исследование эффекта «слипстрим» гоночных автомобилей формулы 1**

Белова Л.А., Зинченко Н.Н., Каландаров К.И.

Научный руководитель – Юдин Г.В.

ГБПОУ СПО МО «Красногорский колледж», г. Красногорск

Гонки болидов Формулы 1 являются одним из самых древних видов спорта. На прямых болидах развивают скорость до 380 км/ч. Именно скорость делает Формулу 1 столь популярной, а единственной целью становится безусловная победа.

Конструктор, создавая аэродинамически совершенный болид, пытается добиться компромисса между его полным аэродинамическим сопротивлением, тягой, боковой силой и прижимной силой, которая благодаря антикрыльям позволяет проходить повороты с большей скоростью, хотя замедляет болид на прямых. Английское выражение *slipstream* в дословном переводе означает «разреженный поток», а в русском языке есть несколько аналогов термина «слипстрим» - «спутанный след», «воздушный поток», «аэродинамическая тень». Этот эффект разреженного спутного турбулентного следа гонщики научились использовать себе во благо. Двигаясь в набегающем воздушном потоке, болид Формулы 1, как и любая другая машина на его месте, будет генерировать разреженную среду позади себя (кильваторе). Заднее антикрыло болида образует стабильную пару вращающихся вихрей на довольно большом расстоянии позади себя («вальс вихрей» в зоне спутного следа). При обтекании болида Формулы 1 эти вихри определяют движение потока воздуха вверх и назад – за машиной, и вниз и вперед – по ее бокам. Поток воздуха под машиной тоже вносит весомый вклад в общую структуру обтекания болида. Воздух, вылетающий расходящейся струи из канала диффузора, немедленно направляется вверх из-за влияния заднего антикрыла и восходящего потока воздуха непосредственно позади машины.

Совокупность этих явлений как раз и приводит к тому, что позади болида образуется зона разряжения. Поскольку эта зона разряжения движется вместе с машиной, то она создает некоторую силу сопротивления и силу тяги, и, кроме того, представляет определенные проблемы для машин, следующих сзади в непосредственной близости от нее.

Экспериментальные аэродинамические исследования с продувочными масштабными моделями болидов Формулы 1 были проведены в МАИ на кафедре «Технологии проектирования и эксплуатации летательных аппаратов» в аэротрубе АТ-2 ( $V_{\max}=50$  см/с) и гидротрубе ГТ-2 ( $V_{\max}=80$  см/с). Получены следующие результаты на основе комплексирования методов вычислительного и физического эксперимента:

- определена вихревая структура болида Формулы 1;
- определен и рассчитан эффект «схлопывания»;
- рассмотрены активные и пассивные методы влияния на структуру течения потока вблизи антикрыльев, дефлекторов, корпуса, шасси, диффузора, воздухозаборника;
- разработаны завихрители воздуха, поступающего из диффузора с целью оптимизации холодного потока;
- проведена широкая параметрия потока для моделей болидов в аэротрубе и гидротрубе в диапазоне  $10^2 \leq Re_{\text{во}} \leq 10^6$ ;
- даны рекомендации по вхождению болида в апекс и андерстрир.

## **Новые возможности системы VisualDIANA**

Кияева Л.В.

Научный руководитель – Лысухин В.И.

ПАО «Туполев», г. Москва

Интерактивная система VisualDIANA [1] используется для подготовки исходных данных и анализа результатов счета для отечественной системы метода конечных элементов ДИАНА [2]. Она реализована в среде Windows, имеет интуитивный интерфейс, по основным функциям не уступает всемирно известной системе PATRAN. Система эксплуатируется в ПАО "Туполев" и его филиалах, в других предприятиях различных отраслей промышленности. Система используется для подготовки инженеров в МАИ на кафедре ТПЭЛА.

Система постоянно обновляется. Последние модификации затронули внутреннюю базу данных (существенно возросла скорость обмена информацией), интерфейс системы и функции отображения модели и результатов счета. Все они заключаются в следующем:

- В интерфейсе системы появилась новая панель – дерево модели. Это позволило существенно упростить операции отображения, модификации объектов и получение информации о них.
- Отображение модели было переведено на базу OpenGL, что позволило ввести удаление невидимых линий, закраску и прозрачность граней объектов модели.
- Появилась новая возможность передачи данных в систему NASTRAN [3] для проведения специфических расчетов напряженно-деформированного состояния (НДС).

- Для преобразования отдельных расчетных моделей, созданных в разных системах координат в диалоге поворота добавился новый пункт для совмещения осей, позволяющий легко перевести координаты одной модели в общую систему координат.
- Существенно изменен модуль отображения результатов для композитных конечных элементов [4].
- Добавилась возможность сквозного анализа НДС балочных элементов на основе программ Stres и Контур.

Список использованных источников:

В.И. Лысухин. Современные интерактивные средства системы метода конечных элементов “ДИАНА”. М. “Прикладная геометрия”, выпуск 11, №23, 2009г. С. 23-45

Лысухин В.И., Стасевич А.В. Система ДИАНА – стандартное средство для расчетов прочности конструкций // Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса / Под общ. Ред. А.Г. Братухина. –К.: Техника, 2001. – С. 206-210.

Доклад на 17 российской конференции пользователей программных комплексов MSCSoftware 8 октября 2014г.: В.И. Лысухин, И.А. Шумилова “Разработка конечно-элементной модели среднемагистрального самолета для задач ударного характера”.

В.И. Лысухин. Анализ прочности композитных конструкций в системе метода конечных элементов ДИАНА. М. «Авиационная промышленность», №3, 2015г. – С. 62-66.

## **Автоматизация алгоритмов выбора оптимальных структур силовых конструкций летательных аппаратов**

Климов Е.А.

Научный руководитель – Лукьянов О.Е.  
СГАУ им. акад. С.П. Королёва, г. Самара

В работе приведены результаты программирования в системах автоматизированного проектирования, направленного на автоматизацию алгоритмов образования оптимальных структур силовых элементов конструкций летательных аппаратов.

Для автоматизации процесса проектирования структур был использован параметрический язык программирования ANSYS Parametric Design Language, интегрированный в систему ANSYS. Используемый алгоритм получения оптимальных структур силовых элементов базируется на математических моделях пластины переменной толщины.

В качестве демонстрационной задачи по отысканию оптимальных силовых схем было рассмотрено нагружение плоских балок (силовой шпангоут фюзеляжа летательного аппарата), подвергаемого нагрузкам, соответствующим разным расчётным случаям полёта ЛА.

Методика отыскания оптимальных структур в данной работе реализована с помощью метода конечного элемента. Программный код, написанный автором работы на языке APDL, осуществляет итерационный процесс выбора рационального распределения материала в теле рассматриваемого силового

элемента для конкретного способа закрепления и типа нагрузки. Согласно алгоритму оптимизации каждому конечному элементу тела конструкции (плоская балка) присваивается определённое значение толщины, определяющее тем самым его жёсткость. Путём итерационного подбора жёсткости конечных элементов формируется оптимальное распределение жёсткости балки, соответствующее минимальному значению массы. В качестве критерия выбора оптимальной структуры силового элемента выбрана его масса.

Решенная в данной работе задача показывает широкие возможности и удобство применения программирования в системах автоматизированного проектирования для создания теоретически оптимальных структур силовых элементов конструкции летательных аппаратов.

## **Исследования и выбор рациональных стыковых соединений кессонных крыльев транспортных самолётов**

Корольский В.В., Самарцева А.П.

Научный руководитель – Волхонский А.Е.

МАИ, г. Москва

Рассматриваются проблемы, связанные с выбором и проектированием стыковых соединений в конструкции крыла на примере создания легкого тактического военно-транспортного самолета, предназначенного для выполнения широкого круга задач по транспортировке грузов различного назначения.

Проведена классификация конструкции стыковых элементов в конструкции планера самолета в зависимости от его массы, относительной массы крыла и построены зависимости массы крыла от массы самолета, относительной массы крыла от взлетной массы самолета. По статистике определялась средняя относительная масса крыла в зависимости от применяемого в конструкции типа стыка.

Рассмотрены особенности конструкции типовых стыков в зависимости от взлетной массы транспортных самолетов и выявлены достоинства и недостатки различных типов разъемных и неразъемных соединений крыла. Сделаны выводы о целесообразности применения того или иного вида стыка в конструкции крыла легкого, среднего или тяжелого транспортного самолета: разъемные соединения целесообразно применять на легких транспортных самолетах, для которых важным требованием является возможность отстыковки частей крыла с целью упрощения транспортировки таких самолетов; неразъемные соединения целесообразно применять на средних и больших транспортных самолетах, для которых важны экономические показатели, качество которых напрямую зависит от совершенства конструкции.

Проведено определение нагрузок, действующих на крыло легкого транспортного самолета с двумя ТВД и проанализирована конструкция элементов отъемной части крыла с выбранным типом стыка. Выполнен расчет на прочность поперечного стыка стыкового стрингера консольной части крыла с центропланом по нижней панели методом конечных элементов. Предложена схема технологического членения самолета и меры по обеспечению заданного ресурса конструкции.

Данная работа позволяет разработать конструкцию крыла для легкого транспортного самолета с относительно небольшой массой и высоким качеством поверхности в сочетании с уменьшением объема крыла в фюзеляжной части самолета, обеспечить снижение массы узла стыка консолей крыла, обеспечивающего прочность и эксплуатационную живучесть соединения консолей, выдерживающих воздействие различных нагрузок в процессе эксплуатации самолета в сочетании с возможностью быстрой стыковки и расстыковки консолей крыла во время производственной сборки и выполнения капитальных ремонтов.

## **Технологии проектирования и эксплуатации нашлемной системы позиционирования**

Измestьев Б., Кузнецов М., Муравьев А.

Научный руководитель – Данышева Н.С.

ГБПОУ СПО «Красногорский Колледж», г. Красногорск

Неотъемлемой частью БРЭО – бортовых оптико-электронных систем летательных аппаратов, - является нашлемная система позиционирования, предназначенная для повышения точности решения задач обзора оператором внешней обстановки, целеуказания и автоматизированного сопровождения объектов.

Нашлемная система позиционирования осуществляет измерение угловых и линейных перемещений шлема оператора (визирной линии оператора, формируемой с помощью спецочков, жестко закрепленных на шлеме) в заданной системе координат, направление осей которой совпадает с направлениями строительных осей носителя, а центр привязан к некоторой точке носителя. Вариантов создания нашлемной системы позиционирования достаточно много. В современных системах нашлемного позиционирования определение угловых координат направления линии визирования оператора обычно производят по пространственным координатам реперных светодиодов, закрепленных на шлеме. Для определения координат реперов в пространстве применяются видеодатчики. Выбор способа построения оптико-электронных нашлемных систем позиционирования зависит от многих факторов: от сферы применения системы, от геометрических параметров кабины оператора, от возможности размещения видеодатчиков.

Целью данной исследовательской работы является системный анализ алгоритмов построения нашлемной системы позиционирования (три способа построения). В первом случае для определения пространственных координат реперов используется один видеодатчик, во втором случае – два видеодатчика, в третьем – две светодиодные линейки.

В ходе проведения исследовательской работы получены результаты измерения угловых координат линий визирования оператора, проведено сравнение точности нашлемной системы позиционирования при малых и больших (более 45 угловых градусов) углах поворота направления линии визирования оператора. Также получены результаты вычислительных расчетов ошибки измерения угловых координат линии визирования оператора от точности измерения координат реперов в пространстве. Исследовано влияние

расстояние между реперами на шлеме от расстояния между видеодатчиками; при использовании второго способа построения наشلемной системы позиционирования от расстояния между видеодатчиками и реперами.

## **Спутник-уборщик космического мусора**

Лукашов А.А.

Научный руководитель – Бокша Л.В.

МАИ, г. Москва

Космический мусор (КМ) уже на протяжении нескольких десятилетий угрожает своим присутствием на околоземной орбите спутникам и орбитальным станциям. Существует несколько видов борьбы с КМ и самый альтернативный метод заключается в использовании спутников-уборщиков. На сегодняшний день разрабатывается швейцарский спутник «CleanSpace One», способный захватить одно тело КМ и вместе с ним сгореть в плотных слоях атмосферы. Запуск такого спутника ожидается в ближайшие 2 года. Но CleanSpace One является достаточно дорогим спутником и недостаточно эффективным из-за своей узкой специализации.

Уборка КМ с околоземной орбиты может стать простой, доступной и высокоэффективной, благодаря технологически особенной структуре корпуса спутника-уборщика. Особенность конструкции будет заключаться в том, что спутник будет сделан из центрального жесткого отсека и многослойной трансформируемой гермооболочки. Благодаря первоначально малому размеру спутника и использованию космической тросовой системы (ТС) появляется возможность запускать спутник-уборщик на околоземную орбиту с помощью шаттла.

Впервые надувные космические модули использовались в 1960 году, космическое агентство NASA запустило Echo, надувной коммуникационный спутник диаметром 30 метров (огромный баллон, сделанный из полиэстра, покрытый алюминием, использовался для передачи радиосигналов). На сегодняшний день существуют Genesis I и Genesis II – два надувных космических корабля, разработанных компанией Bigelow Aerospace. Надуваемые стены которых имеют в составе кевлар. Они спроектированы так, чтобы быть герметичными, жесткими и выдерживать удары космического мусора и небольших метеоритов. Они очень прочные и устойчивы к любому проколу или разрушению.

Предлагаю спроектировать спутник-уборщик, оснащенный надувным космическим модулем и ТС, который будет способен эффективно и с меньшими затратами устранить КМ с околоземной орбиты. Оказавшись на околоземной орбите такой спутник начнёт свою работу способами, изложенными ниже.

Крупные объекты КМ будут собираться с помощью особой системы захвата и «траления». Развертывание ТС для захвата и «траления» КМ может применяться метод комбинированного управления (с применением малых двигательных установок и троса), который наряду с простотой реализации отличается достаточно высокой энергетической эффективностью.

Способ по удалению мелких соринков заключается в использовании аэрогеля. Попадая в такое вещество, мельчайшие частицы заполняют пористую

поверхность и оседают в пластине. Заполненные пластины остаются в спутнике-уборщике.

После осуществления сбора КМ спутник-уборщик сходит с орбиты с помощью ТС и сгорает в плотных слоях атмосферы.

Предложенный способ комбинирования нескольких изобретений, позволяет создать принципиально новую космическую технику по сбору КМ.

## **Экспериментальное определение деформации крыла манёвренного самолёта при различных случаях нагружения**

Верещиков Д.В., Макаров И.К., Салтыков С.Н.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

В статье представлены результаты экспериментального определения деформации крыла маневренного самолета, и сопоставление их с результатами расчета, полученными в расчетном комплексе ANSYS. Сопоставление эксперимента с расчетными данными, выполнено с целью обоснования корректности расчетов подобных задач программой ANSYS.

Экспериментальная установка состоит из: 1. Стапеля; 2. Крыла самолета Су-27; 3. Системы нагружения крыла (тяги и динамометр тяговый 34/3); 4. Системы измерения.

Крыло, входящее в состав экспериментальной установки состоит из заднего лонжерона, переднего лонжерона, набора нормальных и усиленных нервюр, нижней обшивки, носовой части представленной обшивкой и диафрагмами.

Основными продольными силовыми элементами являются передний и задний лонжероны, представляющие собой составные штампованные двутавровые профили. Нижняя часть лонжеронов выполнена из стали 30ХГСН2МА, а верхняя – из сплава В95. Лонжероны крепятся продольными моментными узлами в соответствующих проушинах стапеля.

При проведении эксперимента определялись вертикальное перемещение законцовки переднего и заднего лонжеронов при их поочередной загрузке сосредоточенной силой (2000 Н) и закручивание крыла.

Для повторения данного эксперимента в расчетном комплексе ANSYS, была создана расчетная 3х мерная модель крыла с учетом всех геометрических характеристик и материала, из которого изготовлены элементы крыла.

Для расчета деформации крыла в расчетном комплексе ANSYS, произведена генерация расчетной сетки с учетом требований изложенных в отчете по НИР «Жесткость – 2015» [1]. Учтены материалы, из которых изготовлены элементы конструкции крыла самолета.

Обработка и анализ экспериментальных данных производилась с использованием математической статистики [2].

Расхождения между результатами эксперимента и результатами расчетного комплекса ANSYS во всех расчетных случаях не превышают 10%. Минимальные расхождения составляют около 1%, максимальные 10%. Такой разброс расхождений между результатами связан с различной степенью сложности определения исследуемых параметров в расчетном комплексе ANSYS. Процесс закручивания законцовки крыла самолета, включает в себя изгиб, растяжение, сжатие, кручение большей части элементов крыла самолета.

Для более точного воспроизведения данного процесса в расчетной программе ANSYS, необходимо с более высокой степенью точности проработать 3д модель крыла самолета. Кроме того, ресурсы компьютера ограничиваются количеством и размерами расчетной сетки.

Полученные результаты позволяют использовать расчетный комплекс ANSYS для расчета деформации несущих поверхностей (консоли стабилизатора, крыла, крыла) относящихся к лонжеронному типу.

Список литературы:

1. Отчет по НИР «Жесткость – 2015»
2. Фадеев М.А. Элементарная обработка результатов эксперимента: учебное пособие/ М.А. Фадеев. – ННГУ, 2010. – 122 с.

### **Реализация уточнённого расчёта трудоёмкости и себестоимости изготовления и монтажа средств технологического оснащения в условиях электронного определения изделий АТ**

Петрина А.Н.

Научный руководитель – Самсонов О.С.

МАИ, г. Москва

В настоящее время в авиапромышленности происходят процессы запуска в производство новых самолетов, а также технологическое перевооружение заводов для повторного запуска в производство с использованием современных технологий существующих изделий. Основным фактором при расчете общих затрат на подготовку производства или технологическое перевооружение заводов является трудоемкость и себестоимость оснащения.

Ранее были описаны три этапа расчета трудоемкости СТО: предварительный, промежуточный и уточненный. Первые два этапа расчета реализуется в моменты принятия решений о запуске или перезапуске производства и его целесообразности и ориентирован на статистических данных, а также при эскизных проектах.

Уточненный расчет трудоемкости и себестоимости СТО – это расчет, включающий вычисление трудоемкости изготовления и стоимости компонентов, а также расчет времени на монтаж всех СТО производственной системы. Результат является наиболее точным, так как на него оказывает влияние любое незначительное изменение конструкции сборочных станций и номенклатуры производственной системы.

Исходными данными и инструментами для расчета являются:

- детально проработанные конструкторские электронные макеты оснастки;
- библиотеки типовых элементов оснастки для создания КЭМ СТО;
- классификатор типовых элементов оснастки;
- модуль расчета трудоемкости и стоимости элементов СТО;
- ряд комплексных технологических модулей для проектирования техпроцессов монтажа СТО.

Уточненный этап расчета требует наличие детально проработанных электронных моделей стапелей. КЭМ СТО формируются в системах геометрического моделирования (UGNX, SolidWorks и другие), затем

загружаются в систему ТеМП для расчета. Для ускорения процессов создания КЭМ СТО создается база стандартных типовых элементов, таких как колонны, балки, уголки, основания, фиксаторы, прижимы, позиционеры, а в системе ТеМП разрабатываются модуль расчета, классификатор элементов оснастки, проектируются технологические процессы монтажа СТО.

### **Мотивация преподавательской деятельности в вузе и колледже**

Костова Е.Р., Попова О.М.

Научный руководитель – Рыжова И.М.

ГБПОУ СПО МО «Красногорский колледж», г. Красногорск

Преподавательская работа в ВУЗе представляет собой особый вид интеллектуальной деятельности, которая требует значительных трудовых усилий и постоянного стремления к самосовершенствованию. В связи с этим молодые специалисты, даже окончившие педагогические ВУЗы, реализовываются в других сферах, несвязанных с образованием, где они могут достигнуть более высокого материального положения. Вследствие этого особый интерес представляют собой мотивы выбора преподавательской деятельности, также фактора, побуждающего молодых преподавателей работать в современных условиях.

Для выявления этих особенностей трудовой мотивации было проведено исследование среди преподавателей Красногорского колледжа. Методом исследования было выбрано глубинной интервью с преподавателями разных направлений Красногорского колледжа, в том числе и преподавателей-совместителями.

В результате были выявлены следующие тенденции. Большинство преподавателей начали свою преподавательскую деятельность в связи с поступлением в аспирантуру. Многие респонденты отмечали, что большую роль в выборе в профессии сыграл наследственный фактор – наличие преподавателей и учителей в их семьях.

Наиболее важным для себя в этой деятельности молодые преподаватели считают процесс постоянного саморазвития, наличие определенной профессиональной свободы и общения с молодыми прогрессивными людьми.

Стоит отметить, что преподаватели-практики среди плюсов данной профессии особенно выделяют возможность применения накопленных знаний на практике.

Что касается материальных стимулов, было выявлено, что заработную плату нельзя отнести к основным мотивационным факторам, влияющим на выбор преподавательской деятельности. Среди минусов преподавательской деятельности как таковой, респонденты выделили постоянную серьезную внеаудиторную работу, на которую тратится много времени и сил.

Еще один аспект, который рассматривался в исследовании, это научная деятельность преподавателей. Для большинства опрошенных этот вид деятельности имеет большое значение, но в силу высокой степени загруженности они не могут уделять этому столько внимания, как хотелось бы.

Однако, говоря о перспективах, практически все преподаватели отметили желание просвещать больше времени научной деятельности.

## **Формирование и анализ производственных конфигураций изделий АТ**

Саутенков М.Е.

Научный руководитель – Самсонов О.С.

МАИ, г. Москва

Имитационное моделирование процессов сборочного производства позволяет оптимизировать конструктивно-технологические и организационные решения на разных стадиях реализации проектов создания изделий АТ. При переходе на цифровые технологии проектирования и производства особую актуальность приобретает задача формирования динамической электронной имитационной модели для отработки производственных процессов в 3D-пространстве.

В задачах управления производством имитационное моделирование применяется для формирования и оценки различных вариантов реализации производственной программы предприятия. При этом в качестве альтернативных сценариев могут рассматриваться как различный спрос на выпускаемые предприятием изделия (разные соотношения производимых изделий), так и различные состояния производственной системы в случаях планирования технического перевооружения предприятия.

Планирование и производство самолетов ориентировано на изготовление изделий под конкретного заказчика с учетом его индивидуальных требований. Заводы-изготовители одновременно осуществляют выпуск нескольких типов изделий в различных модификациях и вариантах исполнения, что требует специальных механизмов управления конфигурациями. Нормативными документами регламентируется четыре основных вида конфигурации: функциональная, проектная, производственная и эксплуатационная.

Производственная конфигурация трактуется как совокупность конструкторских и технологических документов и данных, используемых при изготовлении конкретного экземпляра изделия (т.е. однозначно определяющая конструкцию изделия, технологию и состав оснащения, применяемого при изготовлении конкретного изделия в заданный период производства).

Управление конфигурацией рассматривается как задача формирования текущей конфигурации объекта на основании базовой конфигурации и правил конфигурирования. Для управления конфигурацией в структуре объекта выделяются элементы конфигурации и определяется состав их конфигурационных свойств. Объединение конфигурационных свойств всех элементов определяет состав конфигурационных свойств объекта в целом.

В контексте решаемых задач объектами конфигурирования являются изделие, технологические процессы и производственная система, поэтому при формировании производственной конфигурации необходимо учитывать, как связи внутри объектов одного класса (например, между элементами конструктивной структуры изделия при конфигурировании конструкторской документации), так и связи между объектами различных классов (конструкция ↔ технология ↔ производственная система).

Применение системы имитационного моделирования в рамках интегрированной автоматизированной системы, позволит повысить объективность формируемых долгосрочных и среднесрочных производственных

планов и сократить время принятия решений при оперативном регулировании производства.

## **Исследования по созданию новых нанотехнологий обеспечивающих безопасность профиля полёта**

Умеренков Д.Д.

Научный руководитель – Юдин Г.В.

ГБПОУ СПО МО «Красногорский колледж», г. Красногорск

В настоящее время жестокая конкуренция на рынке авиаперевозок привела к тому, что их участники стали нарушать эксплуатационные правила. Коммерческие интересы стали превалировать над техническими возможностями воздушных судов. Произошли и происходят катастрофы, которых никогда не было и не могло быть в жестокой и централизованной системе СССР. И как следствие в России начали приходить иностранные самолеты. К настоящему времени разрушена система политической и экономической защиты нашего рынка от экспансии западной техники.

В современных условиях требуется абсолютно новые технологии, позволяющие решить задачу обеспечения эффективной эксплуатации на внутреннем рынке РФ отечественной техники. Одним из путей улучшения надежности ЛТХ воздушных судов и обеспечения их должной надежности и эксплуатационной технологичности могут стать исследования их внештатных режимов полета путем создания имитационных моделей, позволяющих проигрывать любые режимы полета, находить оптимальные характеристики для любой внештатной ситуации, подсказывать экипажу его действия необходимые для предотвращения катастрофы. Для этого большое внимание уделено на создание и сертификацию миниатюрных микропроцессорных «летных подсказчиков экипажа» - автономных мини ЭВМ.

Результаты исследования позволяют получить ряд методов по созданию новых нанотехнологий, обеспечивающих безопасность профиля полета.

Причинами авиационных происшествий за десятилетний период по открытым данным ЛИИ им. Громова являются: ошибки экипажа - 70%; ошибки службы управления воздушным движением - 6%; ошибки наземного персонала по ПО авиатехники - 2,6%; отказ авиатехники - 12,8%; неблагоприятные воздействия метеословий - 6%; прочие причины - 2,6%.

Ошибки пилота при повторных происшествиях часто связаны с отсутствием у летного состава должной информации о причинах подобных инцидентов.

В связи с наличие потребности такого рода информации существует необходимость в разработке специальных компьютерных программ, которые в динамике воспроизводят наиболее характерные аварии и катастрофы, что в наиболее в доступной форме позволяет летному составу получить те сведения об ошибках экипажа, которые в будущем позволят избежать повторения подобных происшествий.

Предварительная информированность экипажа позволяет сократить время принятия решений, предотвращая тем самым возникающую аварийную ситуацию. В настоящее время подобные информационные системы для летного состава разрабатываются на базе персонального компьютера, что позволяет их

установку в летно-штурманских классах, и они легко доступны. Варианты воспроизведенных в динамике катастроф с их расследованиями по типам самолетов не ограничено.

Использование подобного рода информационных программ позволяет существенно повысить уровень безопасности полетов, так как подготовка экипажей перейдет на более высокую ступень.

### **Динамика систем автоматического регулирования давления в топливном баке жидкостного ракетного двигателя**

Шандрук В.С.

Научный руководитель – Бокша Л.В.

МАИ, г. Москва

Обеспечение требуемого давления в топливном баке жидкостного ракетного двигателя во многом определяет эффективную работу турбонасосного агрегата. Часто возникают случаи нарушения нормального функционирования системы регулирования давления, связанные с процессом самовозбуждения колебаний и вибраций подвижных элементов регулятора. Сегодня разработке методов расчета динамических характеристик систем автоматического регулирования посвящается большое количество работ, в которых рассмотрено решение задач по обеспечению устойчивости системы. Сама система представляет собой регулятор непрямого действия, состоящего из основного клапана и управляющего клапана.

Особенность системы, в достаточно высоких требованиях по точности поддержания давления в баке в широком диапазоне расходов (0-2.0 кг/с). Кроме того, основной клапан имеет плоскую тарель, что приводит к появлению большой аэродинамической силы. Поэтому важным и актуальным является изучение динамических процессов, возникающих при работе и влияющих на обеспечение требуемого давления на входе в насос.

Для исследования динамических характеристик систем автоматического регулирования давления в топливном баке используют программные пакеты виртуального моделирования. Во многих случаях они дают хорошие результаты. Как следует из опытов, резкое изменение осевой перегрузки, связанное с увеличением тяги, приводит к резкому перекрытию клапана, что сопровождается колебательными процессами, приводящие к поломке запорных и регулирующих элементов, и, как итог, разрушение топливного бака. Поэтому важным является поиск решения для гашения колебаний подвижных элементов. Анализы показывают, что требуемое гашение колебаний можно получить путем выбора параметров канала, соединяющее полость между направляющей и клапаном бака. При этом необходимо учитывать сопротивление канала. Для исследования динамики системы регулирования давления газа в емкости были построены амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики. Выходным параметром являлось изменение давления газа в емкости.

Анализ этих характеристик показывает, что на низких частотах наблюдается незначительный резонансный пик. При увеличении частоты до 30-34 Гц наблюдается резкое увеличение амплитуды изменения давления газа в емкости,

связанное с резонансом пружинно-массовой системы основного клапана. При этом амплитуда колебания давления в емкости может превысить 2 кПа в случае некорректного подбора диаметра канала элемента основного клапана.

С учетом соосности направляющей основного клапана и вектора тяги, нужно принимать в расчет изменение давления в газовой подушке, напрямую связанное с обеспечением требуемого давления топлива на входе в турбонасосный агрегат. Таким образом, учёт такого параметра как осевая перегрузка является обязательным условием для обеспечения требуемого качества динамических процессов в топливном баке жидкостного ракетного двигателя.

## **СЕКЦИЯ № 14. Информационно-управляющие и человеко-машинные системы**

Руководитель секции: д.ф.-м.н., профессор Невровский В.А.

---

### **Экспериментальная проверка влияния формы отображения информации с фрактальной организацией на время её восприятия и объём оперативной памяти**

Абрашкин Д.А.

Научный руководитель – Найченко М.В.

МАИ, г. Москва

Исследования в области восприятия фрактальных объектов показали, что степень фрактальности зрительных стимулов влияет на качество их распознавания (фрактал– объект, в точности или приближённо совпадающий с частью себя самого, то есть целое имеет ту же форму, что и одна или более частей, это свойство относится практически ко всем объектом живой природы). Это означает, что время обработки информации человеком-оператором зависит от формы реализации информационных единиц на СОИ. В связи с этим, актуальным становится вопрос - на каком этапе восприятия информации это влияние проявляется более всего. В рамках данной работы была проверена гипотеза, о влиянии формы предъявляемой информации на время ее восприятия и объём оперативной памяти.

В ходе данной работы были решены следующие задачи:

- разработаны процедуры тестирования операторов с соответствующим программным обеспечением для оценки основных психофизиологических параметров восприятия информации;
- разработан и смонтирован специальный стенд с устройством световой блокировки зрительного сигнала для исследования восприятия визуальной информации методом обратной маскировки;
- проведено опытное тестирование программ и статистическая обработка полученных результатов. На основе статистической обработки данных оценены когнитивные способности испытуемых и подтверждена валидность тестов;
- проведено исследование влияния формы коротких зрительных стимулов на время их восприятия и объём оперативной памяти.

В результате проведенного исследования гипотеза о влиянии формы отображения информации с фрактальной организацией (в данном случае символов с различным шрифтом) на время ее восприятия не подтверждена. Это обусловлено или недостаточной корректностью выбранного метода исследований (обратной маскировки), или отсутствием такого влияния. На разрешение данных противоречий и будут направлены дальнейшие исследования.

## **Программа обработки данных процесса пневмотермоформования**

Амелюшко А.М., Трунова Е.А.

Научный руководитель – Шерышев А.Е.

МАИ, г. Москва

В работе рассматриваются вопросы модернизации существующего программного продукта позволяющего получить физико-механические и технологические параметры (геометрия, напряжённое состояние заготовки и детали, остаточное напряжение) выполненные способом свободного пневмовакуумного формования на основе метода сеток. Программный продукт расширяет возможность определения технологических параметров для листовых деталей сложной конфигурации, что расширяет область применения метода свободного пневмовакуумного формования.

В начале работы был проведён анализ существующих математических моделей для процесса свободного пневмовакуумного формования. На основе этого анализа предложена математическая модель, расширяющая возможности при подготовке технологического процесса на основе метода свободного пневмовакуумного формования. Рассмотрены вопросы существующих решений программного обеспечения для обработки экспериментальных данных при создании технологического процесса, а также проведён анализ программного продукта с открытым кодом. В результате были предложены мероприятия, позволяющие модернизировать как алгоритмы существующего программного продукта, так и интерфейс работы оператора при подготовке технологического процесса. По результатам анализа языков программирования был выбран язык Delphi. Это обусловлено тем, что модернизированный программный продукт был создан на этом языке и при заданном техническом задании удовлетворял требованиям разработки. В результате модернизации была предложена методика обработки поступающей информации, которая была формализована в разработанном новом интерфейсе. Разработанное программное обеспечение позволило обрабатывать визуальную информацию, ограниченную не простыми геометрическими образами проёмов при создании изделий, а более сложных геометрических форм. Программный продукт тестировался на основе созданной растровой визуальной информации. При помощи программного продукта Paint были разработаны изображения, которые использовались в виде входной визуальной информации для тестирования модернизированных алгоритмов.

## **Исследование алгоритмов детектирования объектов и слежения**

Баймуратова Д.Б.

Научный руководитель – Трунова Е.А.

МАИ, г. Москва

В работе проведен сравнительный анализ известных методов детектирования и слежения за движущимися объектами в последовательности изображений, рассмотрены методы предобработки видеоизображений, а также реализован алгоритм детектирования движущихся объектов.

При детектировании движущихся объектов в кадре мы использовали метод вычисления оптического потока (локальный дифференциальный метод,

глобальный дифференциальный метод) и метод вычитания фона. Для задачи слежения было исследовано применение фильтра Калмана. Также был рассмотрен метод детектирования определенного класса объектов, где в качестве признаков использовали гистограмму направленных градиентов (HOG), а в качестве классификатора – метод опорных векторов (SVM).

Для сравнительного анализа алгоритмов детектирования движущихся объектов, проводилось тестирование с использованием ряда видеороликов, подготовленных в ходе работы с помощью цифровой видеокамеры в реальных условиях, близких к тем, в которых работает типичная система внешнего наблюдения. Заметим, что мы имеем дело исключительно с цифровыми видеоданными, то есть, с теми, которые хранятся в памяти ЭВМ и обрабатываются на ней программно или аппаратно. В итоге был составлен набор из 5 видеороликов, где в каждой содержится набор движущихся объектов. При составлении тестового набора видеороликов учитывалось требование о наличии в наборе роликов:

- различных окружающих условиях, включая различное время суток, погодные условия;
- различное разрешение видеокадров;
- Для анализа алгоритма выделения движущихся объектов оценивались следующие характеристики последовательности видеокадров:
  - количество пропущенных объектов в кадре;
  - количество ложных объектов в кадре;

Оценка этих характеристик позволяет оценить точность алгоритма выделения движущихся объектов.

На всех этапах разработки алгоритма проводилось тестирование работы, как отдельных частей алгоритма, так и всего алгоритма детектора в целом в среде MATLAB. По результатам тестирования, алгоритм детектирования движущихся объектов продемонстрировал хорошую работу в основном с видеопоследовательностями низкого разрешения.

## **Показатели и критерии оценки информационно-управляющих человеко-машинных систем**

Барыбина Е.В., Фетисова Н.Л.

Научный руководитель – Нестерович Т.Б.

МАИ, г. Москва

Оценка информационно-управляющих человеко-машинных систем является составной частью их проектирования, испытаний и экспертизы. Результаты такой оценки используются для выбора оптимальных конструкторских и аппаратно-программных решений и своевременного выявления, и устранения недостатков, снижающих эффективность и надежность функционирования систем «человек-машина». При этом наиболее сложной представляется оценка учета психофизиологических характеристик и возможностей человека для обеспечения надежности его профессиональной деятельности.

Существующие государственные и отраслевые стандарты в области эргономического обеспечения создания и эксплуатации человеко-машинных систем содержат требования к средствам, условиям и организации деятельности

человека-оператора. Руководства по эргономическому обеспечению проектирования и испытаний определяют методы, способы и порядок учета возможностей и характеристик человека-оператора. Однако показатели и критерии оценки информационно-управляющих человеко-машинных систем они не устанавливают. Как правило, в разделе эргономических требований технического задания на разработку системы «человек-машина» показателей и критериев оценки профессиональной деятельности человека-оператора также нет. Таким образом, нормативно-техническими документами, подлежащими учету при проектировании и испытаниях человеко-машинных систем, в том числе информационно-управляющего типа, показатели и критерии оценки деятельности человека-оператора не устанавливаются. Во многом это связано с предъявлением технических требований к назначению, задачам и условиям работы информационно-управляющих систем и надежности технического функционирования ее подсистем, компонентов и составляющих. Кроме того, на стадии разработки таких систем возможности установления количественных и качественных требований к эффективности профессиональной деятельности человека-оператора не всегда представляется возможным. В связи с этим документы предусматривают проведение ряда специальных исследований по эргономическому сопровождению разработок и испытаний таких систем. Основой таких исследований является концептуальный синтез будущей профессиональной деятельности и моделирование решаемых человеком-оператором задач, а также определение условий и факторов, влияющих как на процесс деятельности, так и на функциональное состояние человека-оператора. Результаты такого синтеза становятся исходными для проведения априорного психофизиологического анализа операциональной структуры деятельности и ее оценки с позиций учета психофизиологических возможностей и характеристик человека-оператора. На стадиях эскизно-технического проектирования в связи с появлением прототипов, моделей или конструкций подсистем, компонентов и составляющих информационно-управляющих систем проводятся лабораторные или натурные исследования с последующим же психофизиологическим анализом и оценкой. Таким образом, по мере создания систем осуществляется последовательное рассмотрение предлагаемых конструкторских и аппаратно-программных решений с позиций оценки и учета возможностей человека-оператора по решению возлагаемых на него задач профессиональной деятельности.

### **Компьютерная модель управления предприятием в среде Matlab/simulink**

Белоглазов И.Ю.

Научный руководитель – Пономарев В.П.

СамГТУ, г. Самара

Существенное повышение качества управления промышленным предприятием можно получить при использовании компьютерных моделей, позволяющих имитировать процессы производственной деятельности. В работе рассматривается имитационная модель материальных и финансовых потоков на предприятии, созданная с помощью модуля Simulink пакета Matlab. Модель

составлена методом визуального программирования (способом «draganddrop») из блоков библиотеки модуля на основе математической модели, описывающей подсистемы производства, поставок материалов, комплектующих и монтажа продукции у заказчика.

Математически экономические процессы выполнения заказов могут быть описаны как дискретные события с индивидуальными параметрами на непрерывной шкале времени. Для создания соответствующей компьютерной модели в модуле Simulink используются блоки из разделов Discontinuities (разрывные функции) и SimEvents (дискретные события). Блоки SimEvents позволяют описывать возникновение заказа, его характеристики, дисциплину очередности выполнения, время отдельных операций. В подсистемах снабжения и монтажа у заказчика с помощью блока Time-BasedEntityGenerator можно использовать различные законы распределения случайных величин. Так для поставок комплектующих подходящим оказался закон Релея, а для монтажа – логнормальный. Блок Discrete-TimeIntegrator обеспечивает дискретное интегрирование системы с шагом в 1 день.

Для службы финансового директора составлена модель платежного календаря, позволяющая учитывать поступления от продажи, оплату производственных расходов, уплату налогов и кредитные поступления. В качестве вариантов возможных кредитов рассматриваются схемы: с равномерной выплатой, с кредитными «каникулами», «воздушный шар». В случае рискованных операций, когда нет четких данных по поставкам или оплате готовой продукции использовался модуль нечеткой логики (FuzzyLogic) пакета Matlab. В сложных условиях рынка и больших банковских процентов по кредитам модель платежного календаря повышает эффективность использования финансовых ресурсов и получила положительные отзывы руководства предприятия.

Выбор инструмента моделирования позволил наглядно сохранить экономические понятия, связи при строгом математическом описании и решении задачи. После выполнения команды “Start” модуль Simulink выполняет дискретное численное моделирование сложной динамической системы и выводит графики материальных и финансовых потоков на предприятии.

Модель достаточно просто можно изменять для проведения вариантов расчетов и выбора оптимальных управленческих решений. Так были проанализированы и учтены индивидуальные требования заказчиков к выпускаемой продукции. Компьютерная модель в модуле Simulink может быть доработана для использования методов многокритериального выбора, выпуклого программирования, нейронных сетей, которые присутствуют в пакете Matlab, и может служить человеко-машинной системой управления современным предприятием.

## **Особенности применения мультиагентных систем в предметных областях транспортной логистики**

Голомазов А.В.

Научный руководитель – Смирнов Н.Я.

МАИ, г. Москва

В настоящее время для решения задач оптимизации логистических процессов используются классические диспетчерские центры с ручным распределением поступивших заказов на перевозку того, или иного груза по исполнителям. В связи с этим отсутствует достаточный уровень автоматизации этих процессов, то есть замена ручного труда единым программно-реализованным алгоритмом, который мог бы выполнять масштабные диспетчерские процедуры в масштабе одного вычислительного комплекса. Анонсируемая в тезисах система позволяет решить эту задачу и автоматически найти идеальную пару «заказчик-исполнитель» удовлетворив многокритериальные потребности каждого из них.

Существующие программные логистические комплексы не исключают участие человека из процесса поиска пары «заказчик-исполнитель», а только поддерживают диспетчерский выбор. Такие системы существуют как в виде устанавливаемого программного обеспечения (ПО), так и в виде веб-сервиса и являются жёстко централизованными. Иными словами данное ПО устанавливается в диспетчерском центре и доступ к базе имеют только диспетчеры данного центра, что требует больших ресурсов для него и не обладает «прозрачностью» сделки. Заказчик и исполнитель общаются через посредника – диспетчера.

Для эффективного решения комплекса логистических задач была выбрана мультиагентная платформа, поддерживающая FIPA-стандарты для интеллектуальных агентов Java Agent Development Framework (JADE) на базе JavaDevelopmentKit (JDK). В рамках данной платформы удалось создать два типа интеллектуальных агентов: «заказчик» и «исполнитель». Каждому участнику системы создаётся виртуальный агент с указанными участником характеристиками, что позволяет достичь следующих преимуществ по сравнению с классическими методами:

- Самостоятельная логика каждого агента «заказчик». Он осуществляет подачу заявки, ожидание ответа, анализ предложения, обладает интеллектуальными навыками поддержки принятия решения в условиях неопределённости и риска, используя методы классификации.
- Самостоятельная логика каждого агента «исполнитель». Он производит поиск заказов, отвечает на заявки, анализирует предложения, обладает интеллектуальными навыками поддержки принятия решения в условиях неопределённости и риска, используя методы классификации.
- Децентрализация системы. Вся логика агентов заложена в самих агентах и выполняется на клиентских вычислительных машинах, что обеспечивает минимальные затраты на функционирование системы, высокую производительность и надёжность.
- Автоматизация поиска. Поиск идеальной пары «заказчик-исполнитель» осуществляется в автоматическом режиме с последующим утверждением лицом принимающим решения полученного результата.

По нашей оценке описанная система вносит существенный вклад в совершенствование информационных технологий сферы логистики. Кроме того использование в качестве клиентских вычислительных машин современных телефонов на базе Android и iOS позволяет обеспечивать открытость системы для каждого пользователя, высокую скорость работы, простоту и доступность использования, сокращение издержек эксплуатации и вносит в сферу логистики передовые информационные технологии, переводя данную сферу услуг на новый уровень.

## **Верификация процесса цифрового управления миоэлектрического протеза нижней конечности человека**

Григорьев Г.В., Лебедев А.В.

МАИ, г. Москва

Изобретение огнестрельного оружия сделало слабого человека равным сильному, а изобретение экзоскелета делает человека равным динозавру. Необходимость разгрузки опорно-мышечной системы предельно актуальна в самых различных сферах деятельности человека.

Являясь ключевым этап в НИР, верификация требует четкого алгоритма ее выполнения, который предложен ниже.

Общая структура. Разработка ТЗ на исследование процесса функционирования встроенной МПС жёсткого РВ. Разработка структурной модели цифрового управления. Процедуры и результаты верификации управляющей МПС.

Весь комплекс мероприятий делится на верификацию прототипа и продукта.

0.0.1 А. Формирование краткого аналитического обзора состояния проблемы исследования. Формирование ИТ организации. (Требования к каждой технологии). По анализу источников – структура комплекса Цифрового управления.

0.0.1 Б. Модельный ряд исполнительных устройств (синхронных машин) для организации ШИМ управления.

0.0.1 В. систематизация цифровых алгоритмов управления в контуре миоэлектрического протеза (DSP) и возможность распараллеливания процесса управления в жестком РВ.

0.0.1 Г. Описание предлагаемого решения (включая принципиальные отличия от прототипа).

0.0.1 Д. По результатам аналитического обзора - формирование ИТ организации комплекса цифрового управления и архитектуры управляющего МПС и обязательно соответствующего комплекса требований по эффективности функционирования.

0.1 Формирование ИТ-организации комплекса цифрового управления миоэлектрическим протезом. Формирование комплекса требований по эффективности функционирования комплекса ЦУЭП.

1.1 ТЗ на обоснование целесообразности создания контура цифрового управления миоэлектрическим протезом нижней конечности. Анализ реализуемости прототипа продукта разработки. Выбор прототипа по результатам аналитического обзора.

1.2 ТЗ на исследование реализуемости цифрового контура управления миоэлектрическим протезом.

2. Разработка структурных моделей верификации прототипа и продукта разработки.

3. Процедуры и результаты верификации прототипа и продукта разработки. Разработка аналитической модели верификации прототипа на прикладном уровне стандарта (иерархии) ISO-OSI.

4. Документирование результатов верификации в форме расчетно-пояснительной записке.

## **Информационные технологии CALS в авиастроении**

Громов П.А., Трунова Е.А.

Научный руководитель – Куликов С.Н.

МАИ, г. Москва

В условиях значительного усложнения инженерно-технических проектов, программ разработки, конкурентоспособными окажутся предприятия, достигшие высокого уровня в управлении бизнесом, обладающие отлаженными процессами проектирования, производства, поставки и поддержки продукта, и способные мгновенно реагировать на возникающие новые запросы рынка.

Предприятия должны провести кардинальное реформирование в сфере управления, опираясь на высокотехнологичные, положительно зарекомендовавшие себя стратегии организации современного бизнеса. Такой стратегией международного стандарта, является CALS.

Применение CALS-технологий позволяет существенно сократить объемы проектных работ.

Существенно облегчается решение проблем ремонтпригодности, интеграции продукции в различного рода системы и среды, адаптации к меняющимся условиям эксплуатации и т.п.

Отставание с внедрением CALS-технологий сделает для предприятий невозможным участие в международной кооперации, негативно отразится на конкурентоспособности и привлекательности производимой продукции, послужит причиной потери определенных сегментов рынка.

При этом реализация уже начального этапа дает существенный эффект за счет сокращения времени выхода изделия на рынок, повышения качества изделия, удовлетворения требований заказчика.

## **Выбор альтернативных средств автоматизации в задаче посадки на сверхкороткую полосу**

Ефименко А.Б.

Научный руководитель – Тяглик М.С.

МАИ, г. Москва

Данная работа посвящена актуальной проблеме повышения безопасности полета и эффективности выполнения задачи посадки на сверхкороткую полосу. Одним из направлений решения этой проблемы является автоматизация самолета, осуществляемая с целью улучшения его пилотажных характеристик в

процессе выполнения целевой задачи. С этой целью в работе разработаны алгоритмы систем автоматизации контура ручного управления, предусматривающие использование, как традиционных средств автоматизации – обратных связей, так и использование органов непосредственного управления подъемной силой.

В работе приведен анализ особенностей пилотирования самолета в задаче посадки на сверхкороткую полосу. К особенностям посадки на сверхкороткую полосу можно отнести высокий порядок астатизма объекта управления, а ввиду того, что посадка происходит на малых скоростях и больших углах атаки, то имеет место неустойчивость самолета по скорости. Эти особенности приводят к тому, что из-за высокого порядка астатизма объекта управления летчик вынужден использовать информацию о дополнительных фазовых координатах и задача пилотирования становится многоконтурной, а неустойчивость по скорости заставляет летчика работать в двух каналах (ручкой управления и сектором газа). Управление в нескольких контурах и (или) каналах приводит к значительному снижению точности пилотирования, при которых пилотирование самолета будет осуществляться в одноконтурной системе, в которой исключается необходимость функционирования летчика в нескольких каналах и динамикой объекта управления, обеспечивающей наилучшее качество.

Известно, что повысить точность выполнения задачи пилотирования можно с помощью средств автоматизации.

Экспериментальные исследования по оценке эффективности средств автоматизации проводились на пилотажном стенде МАИ с широкоугольной коллимационной системой визуализации.

Для реализации экспериментов на стендах было создано программное обеспечение математической модели пространственного движения самолета типа Су-27.

Проведенные на пилотажном стенде исследования показали высокую эффективность предложенных средств автоматизации. Было, в частности, показано, что применение обратной связи по углу тангажа упрощает динамику объекта управления, уменьшает степень неустойчивости самолета по скорости, что приводит к уменьшению разбросов точек касания ВПП в 1.5 раза, разбросов скоростей самолета в момент касания в 2 раза, что соответственно уменьшает потребную длину ВПП в 1.2 раза.

Использование органов непосредственного управления подъемной силой позволяет устранить обращенное управление по углу наклона траектории, повысить точность выполнения задачи в 3 раза и сократить потребную длину ВПП в 1.5 раза в сравнении с неавтоматизированным самолетом. Кроме того, показано, что использование органов непосредственного управления подъемной силой существенно снижает нагрузку летчика.

## **Повышение производительности процессов горизонтальной упаковки на основе математических моделей**

Ефимов И.А.

Научный руководитель – Мамонов С.А.

МАИ, Ступинский филиал

Для разработки высокопроизводительной системы горизонтальной упаковки продуктов пищевой промышленности в маркированную пленку предложено при скоростной подаче заменить часть данных контрольно-измерительных приборов математическими моделями.

Важнейшим аспектом в работе упаковочной машины является стабильная подача на контроллер сигналов с датчика лаги на всех скоростях работы. Именно эти сигналы позволяют синхронизировать все оси упаковочной машины.

Проблема заключается в том, что на высоких скоростях работы упаковочной машины физический датчик не успевает передать данные по определению лаги. В результате происходит сбой синхронизации осей, что приводит к некачественной упаковке продукта и аварийной остановке упаковочной машины.

Лента лагового конвейера упаковочной машины имеет конечную длину, с конечным числом лаг. Лаги располагаются через определенное расстояние. У лагового ремня два цикла: цикл лаги и цикл лагового ремня. Перед началом работы устанавливается нулевая точка ремня и лаги соответственно. Для исключения физического датчика лаги из процесса вычисления, остальные лаги вычисляются виртуально (в импульсах датчика привода – частотный преобразователь генерирует определенное число импульсов на один оборот ремня, что позволяет имитировать работу датчика лаги) – с помощью реализованной модульной функции. Синхронизация лагового конвейера и мастера осуществляется в виде линейного соотношения за период времени.

На основе модели реализована система управления процессом горизонтальной упаковки в маркированную пленочную ленту. В результате использование виртуального ремня позволило увеличить производительность в 3 раза для продуктов пищевых производств (конфеты, шоколадные батончики).

## **Математическое моделирование информационно-управляющей системы при лазерной локации космических аппаратов**

Зиначева Т.С.

Научный руководитель – Денисов М.М.

МАИ, г. Москва

Известно, что точное определение параметров орбиты космического аппарата (КА) является актуальной задачей. На сегодняшний день одним из основных способов определения параметров движения КА является радиолокационный метод. Использование лазеров открыло новые перспективы в технике локации. Лазерные станции в отличие от радиолокационных станций, излучают электромагнитные импульсы с очень узкой диаграммой направленности с расходимостью порядка нескольких угловых секунд.

В связи с этим требуется очень точная система целеуказания, иначе лазерный импульс пройдет в стороне от космического аппарата и не попадет на ретрорефлекторы. В настоящее время направление лазерного луча выбирает оператор лазерной станции вручную, поэтому возникает необходимость в разработке автоматизированной системы наведения и целеуказания для задач локации космических аппаратов с узкими лазерными пучками. Современная лазерная локация вышла на такой уровень точности, когда требуется учитывать неинерциальность лазерной станции, находящейся на вращающейся Земле. Хотя этот эффект общей теории относительности Эйнштейна довольно мал, его необходимо учитывать при локации узкими лазерными пучками. Космический аппарат, движущийся по околоземной орбите, довольно хорошо виден в телескоп лазерной станции и оператор должен был попасть лазерным импульсом на ретрорефлекторы.

Если считать лазерный импульс прямой линией и направить в расчетное место его встречи с космическим аппаратом, было установлено, что этот импульс не попадает на отражатели. Однако если ось лазерного пучка немного доворачивать и направлять импульс не в расчетное место, а сканировать окрестности этого места, то при некотором угловом отклонении от расчетного места (составляющим несколько угловых секунд) лазерный импульс попадает на ретрорефлекторы космического аппарата и в телескопе лазерной станции появится отраженный электромагнитный импульс.

Информационно-управляющая система с помощью ПЗС матрицы должна измерить и зафиксировать угловое положение космического аппарата, а также момент времени измерения  $t_0$ . После этого, по этим данным она должна вычислить угловые координаты направления посылки лазерного импульса в момент времени  $t_b$ , при этом учитывая - необходимое компьютеру время для проведения вычислений; время, необходимое исполнительному механизму для измерения ориентации оси лазера на направление посылки лазерного импульса; момент времени проведения лазерной локации космического аппарата.

Доклад посвящен информационно-управляющей системе, которая способна проводить целеуказание для лазерной локации космических аппаратов с учетом искривления лазерных лучей из-за вращения Земли.

## **Проектирование системы управления беспилотного летательного аппарата**

Иргалеев И.Х.

Научный руководитель – Ефремов А.В.

МАИ, г. Москва

Одним из приоритетов развития авиационной техники является развитие беспилотной авиации. В ходе летных испытаний беспилотных летательных аппаратов, использующих солнечную энергию, инженеры-конструкторы сталкивались с проблемой их устойчивости и управляемости, существенным влиянием упругости на аэродинамику летательных аппаратов, что в некоторых случаях приводило к гибели летательных аппаратов. В этой связи, одной из основных задач проектирования таких беспилотных летательных аппаратов

является создание системы управления, гарантирующей безопасность пилотирования. Основой решения является знание динамики исследуемого летательного аппарата, математической модели его движения.

В данной работе выполнен комплекс исследований по разработке системы управления для высотного беспилотного летательного аппарата. С этой целью реализована модель движения БЛА с закрытым модулем аэродинамики в среде «Simulink» Matlab с использованием имеющихся в нем программных средств для моделирования динамики движения объектов, систем, с использованием модулей обмена с рычагами управления (пульт FUTABA) и с системой визуализации.

Исследование динамики летательного аппарата средствами математического моделирования выявило ряд проблем БЛА. А именно: высокое перегулирование и спиральная неустойчивость в боковом движении, а также развитие колебательного движения по углу рысканья при накренении ЛА. С использованием метода коэффициентов Фурье проведена идентификация частотных характеристик объекта управления. В соответствии с результатами исследований были сформированы алгоритмы системы управления БЛА, предложены альтернативные варианты автоматизации, а также дополнительно проведено исследование частотных характеристик системы самолет-летчик, в котором были определены параметры системы управления беспилотного летательного аппарата.

Экспериментальные исследования включали в себя проведение полунатурного моделирования на пилотажном стенде, в результате которого было получено практическое подтверждение корректности выбранных средств автоматизации системы управления БЛА. Рассчитанные параметры были скорректированы в соответствии с пожеланиями оператора для обеспечения комфортного управления БЛА.

Анализ указывает на то, что для данного беспилотного летательного аппарата достаточно использование статического закона управления, алгоритмы которого реализованы в стандартном автопилоте, устанавливаемом на БЛА. Такой автопилот предполагает смешанное управление, также он включает в себя важный механизм в канале рысканья.

На основе проведенного комплекса исследований был составлен ряд рекомендаций для использования реального автопилота в составе демонстратора при проведении летных испытаний.

## **Сравнительный анализ моделей человека-оператора с точки зрения учёта его психофизиологического типа**

Колмаков С.А.

Научный руководитель – Назаренко Н.А.  
СПбГЭТУ «ЛЭТИ», г. Санкт-Петербург

На сегодняшний день один из ключевых вопросов деятельности человека-оператора (Ч-О) в системе человек-машина (СЧМ) – это способность Ч-О сохранять работоспособность в течение длительного времени. Повышать или поддерживать работоспособность за счет предотвращения нарушений функционального состояния организма или нормализации (коррекции)

измененного в процессе деятельности состояния возможно по трем основным направлениям:

- методы профессионального отбора;
- оптимизация и совершенствование условий труда;
- приемы прямого воздействия на человека.

Последняя группа представляет собой непосредственное влияние на Ч-О психогенными, фармакологическими или же иными способами. Несложно допустить, что методы третьей и второй группы можно объединить, и воздействовать на Ч-О сигналами различной модальности (звуками, визуальными образами, запахами и т.д.) для повышения его работоспособности. Однако здесь следует учесть тот факт, что каждый человек имеет свой собственный вид информационного метаболизма, который отражается в психологическом типе. Т.е. сигналы различной модальности и вида могут, как повышать, так и снижать работоспособность Ч-О определенного психофизиологического типа.

На данный момент не существует систем поддержки Ч-О, которые учитывали бы его психофизиологический тип. Одна из причин отсутствия таких комплексов – непроработанная теория, а именно, отсутствие модели Ч-О, основанной на его психофизиологическом типе.

Современные науки о человеческом факторе, а так же психология и другие области знания, изучающие поведение человека, предлагают множество моделей Ч-О. В данной работе проведен сравнительный анализ имеющихся моделей Ч-О, с точки зрения их использования для учета психофизиологического типа в процессе деятельности и описания влияющих на его работоспособность факторов.

В статье рассматриваются следующие виды моделей:

- соционические модели информационного метаболизма;
- модели репрезентативных систем;
- модели компетенции;
- модели когнитивной деятельности человека.

Сравнение проводилось по следующим критериям: возможность учета психофизиологических особенностей Ч-О; возможность учета факторов, влияющих на деятельность Ч-О; наглядность описания и ряда иных факторов.

В ходе анализа установлено, что ни одна из имеющихся на данный момент моделей, описывающих деятельность человека, не подходит для решения поставленной задачи. Однако, при помощи проведенного сравнительного анализа, выявлены достоинства имеющихся моделей и изучены методики их построения, которые могут быть использованы для создания психофизиологической модели деятельности Ч-О.

## **Компьютерные технологии в авиации**

Кудрявцев А.В.

Научный руководитель – Трунова Е.А.

МАИ, г. Москва

Компьютерные технологии широко и повсеместно используются в авиации, обеспечивая главным образом безопасность полета летательного аппарата.

Обеспечение безопасности полетов требует, чтобы выход самолета на опасные точки зрения прочности или управляемости углы атаки, перегрузки и скорости не был бы неожиданным для летчика. Непроизвольный выход на эти опасные режимы должен быть исключен. При отсутствии на самолете автоматических сигнализаторов, предупреждающих летчика о приближении самолета к опасным режимам и ситуациям, роль “предупредителей” в значительной мере переносится на усилия и перемещения рычагов управления рулями. Современные аналоговые САУ предназначены для повышения эффективности использования воздушного судна, облегчения работы экипажа, обеспечения высокого уровня регулярности и безопасности полетов на всех этапах полета от взлета до посадки в нормальных и сложных метеорологических условиях. Большинство бортовых САУ обеспечивает: улучшение характеристик устойчивости и управляемости самолета; автоматическую стабилизацию углового положения самолета относительно трех основных осей; автоматическую стабилизацию барометрической высоты, приборной скорости полета; автоматическое управление по курсу; крену и тангажу; автоматическое и полуавтоматическое управление в режиме захода на посадку до высоты принятия решения; автоматическое управление при уходе на 2-ой круг; автоматическое управление приборной скоростью при помощи изменения тяги двигателей; автоматический предполетный и полетный контроль оборудования; индикацию основных пилотажно-навигационных параметров и различного рода предупредительную сигнализацию.

В данной работе рассмотрены основные принципы действия автопилота, несколько примеров САУ, основные проблемы автоматического управления ЛА и так же рассмотрен особенно значимый вопрос для научно-технического прогресса – возможно ли в ближайшем будущем начать осуществлять полеты ЛА без членов летного экипажа.

## **Эргономическая экспертиза авиационной техники**

Курчакова Т.В.

Научный руководитель – Козлова Н.М.

МАИ, г. Москва

Эргономическая экспертиза летательных аппаратов является актуальной и ответственной задачей. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 23 июля 2013 г. № 1300-р утверждена «Дорожная карта» по развитию в стране инжиниринга и промышленного дизайна на период до 2018 г. Планом мероприятий предусматривается повышение качества техники и надежности ее эксплуатации за счет учета человеческого фактора на всех этапах жизненного цикла образца техники. Особая роль инжиниринга и эргодизайна видится в обеспечении безотказной работы узлов, агрегатов, систем и оборудования за счет внедрения не только системы качества и повышения культуры производства, но и введения пооперационного контроля и предупреждения ошибочных действий при сборке, испытаниях и предполетном контроле готовности техники. В основе такого контроля лежат методы эргономического анализа алгоритмов, средств и условий выполнения рабочих операций в процессе сборки, испытаний и контрольных действий. Развитие авиационного

инжиниринга и промышленного дизайна предполагает задание требований эргономики и технической эстетики при составлении технических заданий и их учет в процессе эскизно-технического проектирования, испытаний и эксплуатации авиационной техники. В авиации выполнение требований эргономики направлено на повышение профессиональной надежности летчика, члена экипажа, руководителя полетов и авиационных специалистов за счет учета их индивидуальных особенностей, функциональных возможностей и психофизиологических характеристик и поддержания работоспособности на необходимом уровне с помощью специальных средств, оборудования и оптимизации условий труда и отдыха. Для оценки эффективности такого учета предусматривается проведение эргономической экспертизы технических заданий и тактико-технических требований, эскизных и технических проектов, а также образцов авиационной техники на этапе их испытаний и эксплуатации. Основу экспертизы составляют методы, способы и технологии оценки недостаточного учета требований эргономики на психофизиологическую и профессиональную надежность летчика, его функциональное состояние и устойчивость к действию факторов авиационного полета. Для проведения такой экспертизы требуются специалисты, обладающие знаниями психофизиологических характеристик человека и методами оценки их учета при создании и эксплуатации авиационной техники и технических средств подготовки и оценки готовности летчика к полету. В рамках решения этой задачи представляется обоснованным включение эргономики в программы высшего профессионального образования и разработка соответствующих образовательных стандартов и учебных планов. При этом эргономическую экспертизу образцов авиационной техники, обеспечивающую улучшение показателей ее эксплуатации, повышение надежности профессиональной деятельности летчика и безопасности полетов, следует рассматривать как необходимую составную часть проектирования и испытаний авиационной техники. Включение эргономической экспертизы в программы испытаний создаваемых образцов авиационной техники может способствовать повышению их конкурентоспособности на мировом рынке авиационных услуг.

### **Методика построения классификации пользовательских интерфейсов с использованием FODA**

Леонов А.В.

Научный руководитель – Падерно П.И.  
СПбГЭТУ «ЛЭТИ», г. Санкт-Петербург

На сегодняшний день разработано большое количество различных типов систем, неотъемлемой частью которых являются пользовательские интерфейсы (ПИ). Огромное число таких систем применяется в производстве, управлении сложными техническими объектами, системах предупреждения чрезвычайных ситуаций, где важна эффективность и безошибочность работы человека-оператора (Ч-О). Очевидно, что для обеспечения такой работы Ч-О необходимо также учитывать характеристики ПИ.

Как известно, ПИ оказывают влияние на взаимодействие Ч-О с системой в следующих компонентах:

- набор задач пользователя, которые он решает при помощи системы;
- используемая системой метафора (например, рабочий стол в MS Windows);
- элементы управления системой;
- навигация между блоками системы;
- визуальный (акустический, тактильный) дизайн системы;
- средства отображения информации, отображаемая информация и форматы;
- устройства и технологии ввода данных;
- диалоги, взаимодействие и транзакции между пользователем и системой;
- обратная связь с пользователем;
- поддержка принятия решений в конкретной предметной области;
- порядок использования программы и документация на нее.

Однако на данный момент не существует как полноценной классификации ПИ, которая бы учитывала вышеперечисленные элементы, так и методики ее построения. Создание такой классификации позволило бы:

- упорядочить многообразие разработанных ПИ на основе вышеперечисленных компонентов;
- определять степень влияния ПИ на эффективность работы Ч-О;
- определять профессионально важные качества Ч-О на основе особенностей каждого класса ПИ;
- сформировать единую терминологию для существующих ПИ.

В работе предложена методика построения классификации ПИ на основе концепции FODA (Feature-Oriented Domain Analysis), которая изначально применялась для анализа кода программного обеспечения (ПО). Однако FODA можно адаптировать для исследования ПИ. Суть подхода FODA заключается в возможности нахождения наиболее общих и различных черт исследуемых объектов (в данном случае под объектом подразумевается конкретный ПИ).

Для апробации предложенной методики были рассмотрены текстовые интерфейсы VisiCalc, Midnight Commander, Emacs, FarManager, cmas, FreePascalIDE 2.0.0, MicrosoftQBasic 1.1, bash, command.com, cmd.exe, WindowsPowerShell, fish, tcsh и др. Каждый ПИ был представлен в виде дерева, в узлах которого располагались вышеперечисленные компоненты ПИ и их значения. Проведя сравнительный анализ полученных деревьев, были выделены два класса ПИ, на которые разбиваются текстовые интерфейсы – это командный ПИ и истинный текстовый ПИ.

В результате проведенной работы была предложена методика построения классификации ПИ на основе концепции FODA с учетом всех компонент, влияющих на взаимодействие пользователя с системой, а также показаны результаты ее работы для существующих текстовых ПИ.

## **Анализ надёжности выполнения оператором типовых диалоговых операций с видеокдрами АСУ ТП**

Машковцева Р.И.

Научный руководитель – Анохин А.Н.

МИФИ, г. Москва

Одной из задач, решаемых при проектировании и эксплуатации сложных, потенциально опасных технологических объектов, таких как атомные станции, является вероятностный анализ безопасности и оценка техногенного риска их эксплуатации. Составной частью такого анализа является оценка надёжности персонала, выполняющего управляющие функции. Существующие методы анализа надёжности персонала (АНП) основаны, как правило, на декомпозиции деятельности до уровня элементарных операций с последующей подстановкой справочных данных о надёжности их выполнения. В литературе имеется достаточно большое количество таких данных, характеризующих работу человека-оператора с реальными органами управления. Однако современные человеко-машинные интерфейсы все больше опираются на дисплейный способ управления, когда оператор нажимает не на реальную, а на виртуальную кнопку. Отсутствие данных о надёжности выполнения таких операций препятствует применению методов АНП для оценки компьютеризованных интерфейсов. В настоящей работе поставлена задача сбора этих данных.

Для проведения экспериментов на языке JavaScript была написана программа THE\_MNEMONIC, выводящая на экран мнемосхему, максимально приближенную по стилю к стандартным видеокдрам АСУ ТП АЭС.

В ходе экспериментов испытуемому многократно выдается команда на изменение состояния определенного оборудования, для выполнения которой необходимо выбрать мышью соответствующий технологический элемент, в появившемся окне выбрать целевое состояние и нажать на кнопку выполнения. В первом эксперименте мнемознак оборудования залит белым цветом, независимо от его текущего состояния. Во втором эксперименте состояние оборудования кодируется цветом, совпадающим с цветом соответствующей кнопки управления. В третьем эксперименте добавляются отвлекающие факторы – испытуемого просят параллельно отвечать на вопросы по телефону, производить арифметические действия и др. В качестве регистрируемых параметров выступают ошибки испытуемого и время реакции. Кроме того, для проверки гипотезы о монотонии и утомляемости с помощью оборудования и программного обеспечения ВЮРАС регистрируются частота дыхания, частота сердечных сокращений и кожно-гальваническая реакция испытуемого.

В докладе обсуждаются результаты проведенных экспериментов, а также выводы о надёжности оператора при работе с диалоговыми окнами.

## **Исследование проблем перезагрузок сервера и выявление возможностей снижения нагрузки**

Приоров В.Д.

Научный руководитель – Куликов С.Н.

МАИ, г. Москва

Основной задачей для выполнения данной работы была поставлена оптимизация работы сервера, попытка добиться максимальных результатов работы: увеличение производительности, уменьшение времени отклика и уменьшение нагрузки на сервер, для того, чтобы избежать падений сервера.

В ходе решения поставленной задачи, необходимо разработать новые алгоритмы и методы обеспечения повышения производительности веб-систем, уменьшение времени отклика для пользователей распределённого портала образовательного учреждения типа Кафедра, исследование статистических свойств веб-трафика высоконагруженных систем для оптимизации серверного и клиентского программного обеспечения под соответствующие текущие характеристики. Исследование и обоснование выбора аппаратно-программной платформы под соответствующие текущие характеристики.

Результаты, полученные в ходе данного тестирования, будут взяты за основу дальнейших исследований связанных с перегрузками в работе сервера.

Для оптимального выбора метода решения поставленной задачи необходимо провести обзор существующих аналогов...

Отправной точкой для начала исследований была взята разработка российских ученых веб-сервер `nginx`, использующийся в основном при работе в паре с такими известными серверами как `apache`, образ `fast-cgi`, но имеющий возможность работать и без "помощников"...

Веб-сервер `Apache` зарекомендовал себя как наиболее функциональный, стабильный и удобный в использовании HTTP-сервер, который можно использовать как для обслуживания домашней веб-страницы, так и для высоконагруженных корпоративных интернет-проектов. Одна проблема: `Apache` – очень тяжелое приложение, жадное до ресурсов сервера. Это должно быть учтено при его настройке, что является явным недостатком сервера.

`FastCGI` работает следующим образом: скрипт загружается в память, запускает некоторый тяжелый код инициализации (например, подключает объемистые библиотеки), а затем входит в цикл обработки входящих HTTP-запросов. Один и тот же процесс-скрипт обрабатывает несколько различных запросов один за другим, что отличается от работы в CGI-режиме, когда на каждый запрос создается отдельный процесс, "умирающий" после окончания обработки. Обычно, обработав  $N$  запросов, `FastCGI`-скрипт завершается, чтобы сервер перезапустил его вновь уже в "чистой песочнице".

## **Платформа сбора данных адаптивной системы управления средой обитания**

Самсонов И.В.

Научный руководитель – Таратонов И.А.

МАИ, г. Москва

Для адаптивного управления средой обитания необходимо обладать широким спектром значений различных показателей, получаемых посредством датчиков, построенных на различных физических принципах. Измерения, связанные с функциональными характеристиками человека, могут являться отдельным направлением в функциональной диагностике человеческого организма. Для установления корреляционных зависимостей между результатами измерений необходимо проводить анализ их результатов. Данная задача может существенно упроститься при наличии единой методики сбора данных. Опираясь на определенные характеристики измерений, станет возможным анализировать и выводить получаемую информацию в простой и понятной форме для восприятия человеком.

Цель работы заключается в создании инструмента для сбора и анализа результатов измерений, получаемых с различных датчиков, для формирования предложений по управлению средой обитания человека.

В данной работе был создан ряд устройств на базе микроконтроллера, который способен автоматически производить сбор необходимой информации с различных датчиков. Результаты измерений отправляются по беспроводному каналу данных на единый сервер, где проводится их анализ, а также формирование рекомендаций по управлению средой обитания. Средствами разработанного программного обеспечения отображается физическая активность и фотоплетизмография человека в реальном времени. Посредством анализа получаемых данных вычисляется частота сердцебиения. Другие методики проведения анализа получаемых данных и рекомендаций по управлению разрабатываются пользователем данного инструмента. Они записываются в алгоритмы устройства и далее выполняются автоматически.

Набор рекомендаций по управлению средой обитания человека формируется в реальном времени автоматически на основе постоянно собираемой информации от подключенных устройств. Выбор пользователем одного из предложенных решений приводит к формированию и отправке управляющих сигналов на устройства, оказывающих воздействие на параметры среды обитания: фильтрации, вентиляции и кондиционирования воздуха, терморегулирования, освещения и др.

## **Метод поддержки принятия решений для МТО в системе послепродажного обслуживания АТ военного назначения**

Титов Ю.П.

Научный руководитель – Хахулин Г.Ф.

МАИ, г. Москва

В данном докладе рассматривается модификация метода муравьиных колоний (AntColonyOptimization) для поддержки принятия решений (СППР) при

формировании состава ЗИП. В результате работы СППР выдает управляющему техническим центром множество рациональных решений. Каждое решение характеризуется набором требуемых ЗЧ на конкретных складах для обеспечения требуемого уровня коэффициента готовности.

Для ранжирования решений разработаны два критерия: общий коэффициент готовности, определяется математическим ожиданием коэффициента готовности каждого экземпляра АТ и стоимость мероприятий для поддержания данного коэффициента готовности. Управляющему техническим центром предоставляются только решения из множества Парето.

Для формирования решения создается граф «решений», где каждой вершине соответствует определенное количество определенной ЗЧ на конкретном складе. Путь в данном графе и определит решение. Для нахождения пути в графе применяется модифицированный метод муравьиных колоний. Суть поиска решений заключается в процедуре неявного перебора различных вариантов состава ЗИП, с последующим вычислением значений критериев с помощью комплекса взаимосвязанных имитационных моделей. Метод муравьиных колоний относится к классу метаэвристических методов и нацелен на поиск гамильтонова пути в графе. Для решения данной задачи проведены модификации данного метода, позволяющие искать путь в составленном графе «решений» с целью максимизации (минимизации) различных критериев. В результате применения метаэвристического метода для определения состава ЗИП появилась возможность прямого взаимодействия с ЛПП и поиска различных вариантов решений, например, данный метод позволяет находить решение одновременно по двум критериям, или по каждому критерию в отдельности при установке ограничений на другой.

Литература:

Синицын И.Н. Шаламов А.С. Лекции по теории систем интегрированной логистической поддержки. – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2012.

Colomi A., Dorigo M., Maniezzo V. Distributed Optimization by Ant Colonies. //Proc. First Eur. Conf. on Artific. Life, Paris, France, F.Varela and P.Bourgine (Eds.), Elsevier Publishing. 1992. P. 134-142.

### **Разработка и тестирование программно-аппаратного комплекса для экспериментального исследования операторского интерфейса**

Воловод Д.А., Герасимчук И.С., Турицын М.И.

Научный руководитель – Анохин А.Н.

МИФИ, г. Москва

Стремительное усложнение эргатических систем и объектов их управления вынуждает инженеров проектировать интерфейсы с высокой плотностью отображения информации. Это требует поиска новых форм представления информации, в связи с чем представляется актуальным экспериментальное исследование особенностей их восприятия человеком-оператором.

В данной работе представлен созданный программно-аппаратный комплекс для экспериментального исследования операторского интерфейса. Комплекс состоит из рабочего места, программы-симулятора, упрощенно имитирующей функционирование технологического объекта и позволяющей управлять его

оборудованием, системы айтрекинга The EyeTribe ET1000, готового и оригинального программного обеспечения для получения и обработки данных айтрекера.

Использование дистанционного айтрекера, определяющего координату взгляда по фотографии глаза, позволяет анализировать процесс восприятия оператором управляющего интерфейса по последовательности саккад и фиксаций взгляда. Основным недостатком этих систем, особенно из дешевого сегмента, является труднопредсказуемая погрешность и наличие пропущенных и/или недостоверных данных. Таким образом, перед использованием прибора в исследовательских задачах следует определить эти характеристики и убедиться в их приемлемости.

Поэтому первым этапом применения данного комплекса стало проведение экспериментальной серии с целью получения достоверных данных о чувствительности прибора и точности определения координат взгляда в зависимости от различных факторов. Для решения этой задачи были проведены эксперименты, в ходе которых испытуемым предъявлялся стимул и ставилась задача зафиксировать на нем взгляд. В качестве исследуемых величин выступали: время от предъявления стимула до фиксации взгляда на нем, шумы, измеряемые с использованием искусственного глаза [1], систематическая погрешность айтрекера для различных областей экрана, влияние на погрешность айтрекера движений головы по сравнению с головой, зафиксированной с помощью офтальмологической рамки.

Учитывая специфику методики измерения, в качестве характеристики точности показаний айтрекера были выбраны среднеквадратичные отклонения и разности между регистрируемой координатой и центром предъявляемого стимула по каждой из координат ( $x, y$ ). В результате расчетов получены следующие данные: среднее отклонений близко к 0, среднеквадратические отклонения по  $x$  –  $19 \text{ px}$  (около 39 угл. мин.), по  $y$  –  $22 \text{ px}$  (около 44 угл. мин.). Максимальное отклонение составило по  $x$  –  $232 \text{ px}$ , по  $y$  –  $76 \text{ px}$ .

Список литературы

Барабанщиков В.А., Окутин О.Л., Окутина Г.Ю. Чувствительность айтрекера и точность измерений положения глаз // Экспериментальная психология в России: традиции и перспективы. – М.: Институт психологии РАН, 2010. – С. 90–96.

## **Кибернетика как наука**

Храпов А.О.

Научный руководитель – Трунова Е.А.

МАИ, г. Москва

Оригинальность кибернетики как науки заключается в том, что она изучает не вещественный состав систем и не их структуру, а результат работы данного класса систем. В кибернетике впервые было сформулировано понятие "черного ящика" как устройства, которое выполняет определенную операцию над настоящим и прошлым входного потенциала, но для которого мы не обязательно располагаем информацией о структуре, обеспечивающей выполнение этой операции.

Системы изучаются в кибернетике по их реакциям на внешние воздействия, другими словами, по тем функциям, которые они выполняют. Наряду с вещественным и структурным подходом, кибернетика ввела в научный обиход функциональный подход как еще один вариант системного подхода в широком смысле слова.

Кибернетический подход - исследование системы на основе кибернетических принципов, в частности, с помощью выявления прямых и обратных связей рассмотрение элементов системы как некоторых "черных ящиков". наука предметная область

Цель кибернетического подхода заключается в применение принципов, методов и технических средств для достижения наиболее эффективных в том или ином смысле результатов оптимизирующего управления.

Объектом исследования являются кибернетика как научное направление. Предметом исследования - исторические аспекты развития кибернетики и ее прикладная направленность.

Основная цель исследования - основных положений кибернетики как науки и ее предметной области.

По мере развития и освоения такого предмета как кибернетика люди находят ей применение и внедряют в различные области человеческой деятельности, благодаря чему значительно упрощается работа, становится возможным выполнение невозможных для человека работ, выполнение сложных исследований, представление различных моделей процессов.

## **Антропоцентрический подход к формированию желаемой траектории автоматического управления посадкой самолёта**

Чинь В.Т.

Научный руководитель – Костюков В.М.

МАИ, г. Москва

Формирование желаемых траекторий при автоматическом управлении посадкой самолета основано на использовании опыта ручных и автоматических посадок самолетов. В реализуемых до последнего времени алгоритмах не связывают напрямую эти алгоритмы с иногда вынужденной проблемой перехода в реальном времени на ручной режим (практически мгновенно в любой точке траектории) из автоматического управления из-за складывающейся либо на борту, либо на аэродроме, обстановки. Эти алгоритмы требуют от летчика реализации траекторий, не совпадающих с наблюдательными им до момента перехода на ручной режим и это осложняет его адаптацию к ручному режиму. Поэтому, в работе предлагается антропоцентрический поход для устранения данной проблемы.

В работе рассмотрены из анализа прогноза деятельности летчика в зависимости от текущего участка траектории, оценки его состояния и спрогнозированных доступных законов управления тягой двигательной установки алгоритмы и программы их реализации, необходимые для нахождения наиболее удобных для летчика управляющих воздействий на органы управления, которые далее используются в алгоритмах оптимального

управления посадкой в качестве желаемых управлений и траекторий движения самолета в автоматическом режиме, для трех следующих этапов:

- Для участка энергичного разворота на глиссаду, где самолет описывается нелинейным диф.ур., модель летчика представляется нелинейным оптимальным регулятором, для нахождения параметров которого анализируются при ручном наведении на глиссаду эксперименты по управляющей деятельности летчика, стремящегося минимизировать отклонения от заданной траектории, действующие на него перегрузки и затраты на управление. В результате, в модели поведения летчика получен критерий ошибки вида:

$$J = 50\epsilon_r^2 + 50\epsilon_\alpha^2 + \int_0^{t_f} [-5,72 \cdot 10^{-2} (\omega_{\alpha} V_{\alpha})^2 + 1,0 (\delta_r - \delta_{r_0})^2 + 1,85 \cdot 10^{-1} (\delta_\alpha - \delta_{\alpha_0})^2 + 1,85 \cdot 10^{-1} (\delta_\alpha - \delta_{\alpha_0})^2 + 4,77 \cdot 10^{-3} (\delta_\alpha - \delta_{\alpha_0})^2] dt.$$

- При движении самолета по глиссаде, вследствие малого отклонения от глиссады, модель динамики самолета может описываться и восприниматься летчиком как линейная, и управляющая деятельность летчика может описываться (адекватно модели управляемого объекта) линейной моделью, а режим управления – компенсационным слежением.

- Этап выравнивания, с точки зрения динамики полета, также можно описывать линейной моделью, но с нестационарным коэффициентом усиления. Траектория движения самолета в экспериментах по ручному выравниванию близка к экспоненте. Определению подлежат следовательно только высота выравнивания, закон изменения тяги двигательной установки и для всех вариантов коэффициента усиления. Выбор искомым параметров осуществляется направленным перебором допустимых высот выравнивания на максимум относительной ошибки высоты начала выравнивания и с предлагаемыми законами изменения тяги двигательной установки.

## **Управление скоростью подачи продукта на системе конвейеров**

Чистова А.С.

Научный руководитель – Мамонов А.С.

МАИ, Ступинский филиал

Системы автоматизации, предназначенные для массового производства, имеют следующие ограничения: быстрое моральное старение; длительный срок и высокая стоимость внедрения, а также ограниченные возможности по гибкости и адаптации к конкретным процессам, таким, например, как сборка, контрольно-испытательные и ремонтные операции.

Целью управления конвейерной системой является стабилизация некоторой физической величины, изменение ее по заданной программе.

По методу управления автоматические системы управления (СУ) подразделяют на приспособляющиеся (адаптивные) и неприспособляющиеся к изменяющимся условиям работы ОУ.

Приспособляющиеся, или адаптивные, автоматические СУ целенаправленно изменяют алгоритмы управления или параметры управляющих воздействий для достижения наилучшего управления объектом. Поскольку в процессе работы таких систем происходит изменение их алгоритмов и (или) структуры, то их называют также самонастраивающимися. Частный случай

приспосабливающихся систем – экстремальные, задача которых – автоматический поиск максимума или минимума управляемой величины.

Следующий признак классификации связан с результатом работы системы в установившемся состоянии. В соответствии с ним автоматические СУ делят на статические и астатические.

В статических системах по окончании переходного процесса существует разница между заданным и установившимся значениями управляемой величины, которую называют статической ошибкой. Статическая ошибка – неперенный признак таких систем, причем величина ее зависит как от величины возмущения, так и от параметров настройки регулятора.

В астатических системах управляемая величина по окончании переходного процесса равна заданному значению. Возможное отклонение (ошибка управления), свойственное реальным системам автоматике, обусловлено несовершенством ее элементов.

При определении технического уровня конкретного объекта упаковочной техники его показатели необходимо сопоставить с соответствующими показателями базового образца. Для перспективного объекта, подлежащего разработке, в качестве базового выбирается образец с прогнозируемыми показателями, отражающими высшие мировые достижения.

### **Индивидуально-адаптированная система поддержки управляющих действий лётчика при выполнении типовых полётных режимов**

Якименко В.А.

Научный руководитель – Ким Р.В.

МАИ, г. Москва

В работе [1] были предложены основы методов контроля и анализа управляющих действий летчика при выполнении типовых полетных режимов. На основе результатов, представленных в данной работе, разработан функционально-программный прототип системы индивидуально-адаптированной поддержки управляющих действий летчика. В качестве типового полетного режима, рассматривался режим посадки как наиболее жестко регламентированный.

Исходными данными для решения задачи контроля управляющих действий летчика, являются показания навигационно-пилотажных приборов, положения ручки управления самолетом, ручки управления двигателем, в совокупности представляющих собой вектор состояния системы  $Z$ , и дальность до взлетно-посадочной полосы  $l$  (ВПП). В качестве параметров, характеризующих штатное выполнение режима посадки, рассматриваются отклонения центра масс ЛА от заданной терминальной точки на срезе ВПП в горизонтальной  $\mu_z$  и вертикальной  $\mu_n$  плоскостях. В качестве модели управляющих действий лётчика  $\mu(Z, l)$  используется нейронная сеть типа двуслойный персептрон, которая позволяет на основе исходных данных осуществлять прогноз параметров, характеризующих качество выполнения типового полетного режима. На основе прогноза отклонения центра масс ЛА от терминальной точки

формируется искусственная, стимулирующая поправка к положению курсо-глиссадной планки, индицируемого летчику.

Для проверки эффективности предложенного функционально-программного прототипа системы индивидуально-адаптированной поддержки летчика, был проведен ряд экспериментов с использованием аппаратно-программного симулятора самолета МИГ-АТ, построенных по следующей схеме. Пилотом были выполнены 5 серий по 50 посадочных режимов, каждая из серий отличалась от предыдущей уменьшением дальности до среза ВПП, на которой начинала свою работу система поддержки летчика. По результатам проведенных экспериментов было выявлено снижение количества траекторий, для которых центр масс ЛА не попадает в заданную область на срезе ВПП, в сравнении с результатами полученными без использования предложенной системы. Однако данный эффект наблюдается не для всех режимов работы системы. Предполагаемой причиной этого явления может быть тот факт, что введение поправки к показаниям курсо-глиссадной планки является, по сути, осознанным искажением приборного образа полета и, как следствие, может оказывать отрицательный эффект на адекватность восприятия пилотом текущей полетной ситуации и его управляющие действия. Для устранения этого явления предполагается использовать в качестве «подсказки» не искусственную, стимулирующую поправку, а сигналы в формате «выше/ниже».

Список литературы

Евдокименков В.Н., Ким Р.В., Векшина А.Б., Якименко В.А. Исследование индивидуальных особенностей управляющих действий лётчиков в процессе посадки на основе нейросетевых моделей // Вестник Московского авиационного института, № 3, 2015

## **СЕКЦИЯ № 15. Информационные технологии в инженерном образовании**

Руководитель секции: д.т.н., профессор Юрин В.Н.

---

### **Создание локальных серверов Apache для размещения сайтов**

Агеев Е.Л.

Научный руководитель – Шафеева О.П.

ОмГТУ, г. Омск

В инженерном образовании важно умение создавать и использовать собственные сайты. Можно сделать оболочку и сайт при помощи различных бесплатных ресурсов либо написать вручную с помощью HTML. Но все сталкивались с проблемой размещения сайта в интернете. Существует множество сервисов, к примеру, uCoz, но в них присутствуют различные ограничения по внешнему виду, адресу сайта, а большинство арендуемых доменов – платные. В настоящей работе для создания собственного локального сервера и размещения на нем сайта предлагается использовать Apache HTTP-сервер.

Главными достоинствами Apache считаются надежность и гибкость конфигурации. Он позволяет подключать внешние модули для предоставления данных, использовать системы управления базами данных для аутентификации пользователей, модифицировать сообщения об ошибках и т. д., поддерживает IPv6. Сервер был создан в начале 1995 года и считается, что его имя восходит к шуточному названию «a patchy» (англ. «заплаточка»). Веб-сервер Apache разрабатывается и поддерживается открытым сообществом разработчиков под эгидой Apache Software Foundation и включен во многие программные продукты. Ядро Apache включает в себя основные функциональные возможности, такие как обработка конфигурационных файлов, протокол HTTP и система загрузки модулей. Ядро полностью разрабатывается Apache Software Foundation, без участия сторонних программистов. Apache имеет встроенный механизм виртуальных хостов. Он позволяет полноценно обслуживать на одном IP-адресе множество сайтов (доменных имен), отображая для каждого из них собственное содержимое.

Для каждого виртуального хоста можно указать собственные настройки ядра и модулей, ограничить доступ ко всему сайту или отдельным файлам. Некоторые MPM, например, Apache-ITK позволяют запускать процесс httpd для каждого виртуального хоста с отдельными идентификаторами uid и guid. Основные модули: PHP (mod\_php), python (mod\_python, mod\_wsgi), ruby (apache-ruby), perl (mod\_perl), ASP (apache-asp), tcl (rivet).

Apache имеет различные механизмы обеспечения безопасности и ограничения доступа к данным: ограничение доступа к определенным директориям или файлам; механизм авторизации пользователей для доступа к директории на основе HTTP-аутентификации; ограничение доступа к определенным директориям или всему серверу, основанное на IP-адресах

пользователей; запрет доступа к определенным типам файлов для всех или части пользователей.

Настройка сервера производится достаточно просто. Во время запуска сервера и размещении сайта можно столкнуться с такой проблемой, как представление адреса сайта в виде IP-адреса. Для доступа к сайту предлагается использовать буквенный статический IP-адрес. Для создания такого адреса достаточно воспользоваться бесплатным сервисом No-IP, заменяя свой динамический или статический IP-адрес на буквенное имя вида: name.domen.net, где name – имя, которое задаете вы, а domen.net – домен, на котором будет размещен ваш IP адрес (выбирается из списка предложенных).

Для добавления виртуального хоста достаточно выполнить два действия:

- в корневом каталоге в папке conf запустить файл httpd.conf и активировать домен и порт, добавив строчку: Listen name.domen.net:80;
- в этой же папке зайти в подкаталог extra и в файле httpd-vhosts.conf добавить новый виртуальный хост.

С помощью Apache так же можно проводить хостинг игровых серверов, форумов и других подобных ресурсов без денежных вложений и особых усилий.

## **Решение актуальных задач проектирования в учебном процессе графических дисциплин**

Альшакова Е.А.

Научный руководитель – Альшакова Е.Л.

ЮЗГУ, г. Курск

Изменения в технологиях, экономических моделях и обществе влияют на промышленный дизайн и производство по направлениям: развивается интеллектуальное производство, становясь более доступным; происходят фундаментальные изменения в области спроса и потребления; изменяются непосредственно продукты, которые становятся все более «умными». При производстве нового товара на этапе проектирования товара необходимо заложить качества, отличающие данный товар от присутствующего на рынке, обеспечить возможность удовлетворения появляющихся потребностей и ценностей потребителей. Важно обеспечить максимально короткий срок выхода товара на рынок.

Таким образом, в учебный процесс внедряются работы, связанные с дизайном товара (внешний вид, взаимодействие и функционирование всех составных частей изделия).

Возникает необходимость актуальные задачи проектирования – простое построение сложных 3D моделей деталей и сборок, создание доступных в использовании параметрических компонентов, моделирование и оптимизация конструкций, расчет и инженерный анализ изделий, решать при обучении студентов. Инновационные инструменты проектирования, имеющие широкие возможности создания прототипов изделий, выполнения прочностных расчетов, рабочей документации проекта, создания презентаций, анимации работы изделия, дают возможность студентам участвовать в создании новых товаров, реализовывать собственные бизнес проекты, стартапы.

При применении программных продуктов проектирования в учебном процессе графических дисциплин для выполнения традиционных графических работ в соответствии с содержанием курса «Инженерная графика» высвобождается время аудиторных работ и самостоятельной работы студентов. Это время можно использовать для обучения студентов созданию сложных 3D моделей деталей и сборок и представления их как в соответствии с требованиями ГОСТ ЕСКД, так и современными тенденциями бизнес проектов (наличие разнесенных сборок, анимации, фотореалистичных изображений). Кроме того, появилась возможность показать студентом первого курса, помимо CAD, CAE/CAM системы.

В исследовании рассмотрено выполнение в учебном процессе дисциплины «Инженерная и компьютерная графика» проектов 3D моделей сборочных единиц, содержащих детали геометрически сложной формы, с применением программного продукта AutodeskInventor, поддерживающего технологию цифровых прототипов. Проект содержит рабочие чертежи, фотореалистичные наглядные изображения и анимацию работы изделия. Например, в учебном процессе создается твердотельная модель флакона в AutodeskInventor по размерам, приведенным на чертеже. Недостающие размеры измеряются на проекциях детали и определяются с помощью линейного графика масштабов. Данная деталь используется в сборке Пульверизатор. Аналогичные задания предлагаются на студенческих олимпиадах и конкурсах различного уровня по проектированию и компьютерной графике. Работа выполняется фронтально, для выполнения индивидуальных заданий предусмотрены аналогичные детали и сборочные единицы.

В учебный процесс внедрена новая работа, которая заключается в проектировании параметрического компонента, включаемого в библиотеку и используемого в сборках, по чертежу и таблице исполнений. Работа выполняется в AutodeskInventor. Разрабатывается программа, которая задает значения параметрам модели. Создается интерфейс пользователя. Исследованы трудоемкость работы и время ее выполнения студентами.

Занятия проводятся в форме мастер-классов (эффективные приемы создания 3D моделей), используются видео уроки и методические пособия, доступные в сети Интернет.

### **Совместная работа в единой среде инновационного проектирования и управления данными Autodesk Fusion 360**

Альшакова Е.А., Борзых А.В.

Научный руководитель – Альшакова Е.Л.

ЮЗГУ, г. Курск

С целью организации совместной, параллельной работы в единой среде проектирования и управления данными в учебный процесс дисциплины «Инженерная и компьютерная графика» внедрен программный продукт AutodeskFusion 360 – комплексный облачный CAD/CAE/CAM инструмент для промышленного дизайна и машиностроительного производства. AutodeskFusion 360 содержит минимальный необходимый набор функций, простых в использовании и эффективных в проектировании. Работа над проектом от

создания 3D модели детали, затем сборки, проверки кинематики, наложения материалов, до получения изображений, записи анимации, выполнения расчетов на прочность и подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ, проводится в единой среде Fusion 360.

Хранение данных Fusion 360 организовано в виде проекта в облаке (сервис Autodesk A360), в котором размещаются файлы, созданные пользователем: 3D модель (различные версии), файлы изображений, видео, программы и др. Обмен данными происходит с помощью облачного сервиса Autodesk A360: созданные в AutodeskFusion 360, проекты доступны на сайте <https://myhub.autodesk360.com>. Для входа на сайт пользователю необходимо указать учетную запись Autodesk (это может быть адрес электронной почты) и пароль. На сайте [myhub.autodesk360.com](https://myhub.autodesk360.com) можно создавать проекты, управлять данными, приглашать пользователей в проект для совместной работы (предоставлять доступ к файлам), вести календарь событий проекта: добавлять события, устанавливать контрольные даты, создавать и просматривать страницы в проекте, содержащие текстовые документы. Созданная во Fusion, 3D модель на этом сайте может быть экспортирована и загружена на компьютер пользователя в форматах Inventor, AutoCAD и других графических систем. Для предоставления доступа к файлам проекта достаточно указать адрес электронной почты пользователя и нажать кнопку, чтобы отправить приглашение. Получив это приглашение, пользователь сможет присоединиться к проекту в среде Fusion 360 и на сайте A360.

Работа в команде, выполнение совместного проекта в среде Fusion 360 исследовались на примере модели: 1) сборочной единицы, содержащей большое количество оригинальных деталей, подготовленной в рамках итоговой работы курса «Инженерная графика», 2) фантастического спорткара, предназначенного для участия в международном конкурсе, проводимом компанией Autodesk. Проект модели спорткара выполнялся в несколько этапов совместной работы: задание на проектирование, выполнение эскизов – рисунков, как реализации творческого замысла; проработка концепции изделия; создание прототипа изделия; визуализация прототипа изделия. Участник команды создает эскиз в графическом редакторе, например, AutodeskSketchBook, или «от руки» на листе бумаги и сканирует изображение. Далее файл изображения загружается на сайт A360. Доступ к файлу открыт для участников, приглашенных в проект. Эскиз обсуждается на сайте участниками проекта, дорабатывается. Для ускорения процесса моделирования файл изображения загружается на компьютер пользователя и используется как подложка – по контуру изображения строятся сплайны, линии (эскизы – основа создания твердых тел и поверхностей) или грани поверхности. Участники команды работают над созданием модели параллельно, различные версии хранятся на сайте A360. Устанавливаются связи между компонентами сборки, проверяется работа сборки, назначаются материалы поверхностям, выполняется рендеринг и анимация работы изделия. Изображение модели и саму 3D модель можно разместить в галереи Fusion и предоставить доступ к модели всем пользователям.

Дизайн продукта в AutodeskFusion 360 осуществляется от идеи до прототипа, изделие можно распечатать на 3D принтере или выполнить на станке с ЧПУ.

## **Проектирование: 3D модели и чертежи в курсе начертательной геометрии**

Альшакова Е.А., Карачёва В.С.

Научный руководитель – Альшакова Е.Л.  
ЮЗГУ, г. Курск

В связи с переходом на уровневую систему высшего образования, а также с изменением технологий проектирования и производства сокращается количество часов на изучение начертательной геометрии – теоретической основы построения чертежа. Чтобы обеспечить качество обучения в таких условиях, в курсе начертательной геометрии проводятся мастер-классы по решению задач изучаемой темы, используются видео-уроки и методические пособия с примерами решения задач.

Студенты в учебном процессе курса решают аналогичные рассмотренным задачам, индивидуальные задания указанного варианта. С целью оптимизации выполнения индивидуальных заданий графических работ разработан программный комплекс решения задач начертательной геометрии в интерактивном режиме, с построением чертежа.

Программный комплекс разработан под инженерную платформу AutoCAD, обеспечивающую высокую точность и качество проектирования. Программы решения задач созданы на встроенном в AutoCAD языке функционального программирования AutoLISP. Программа AutoLISP – последовательность вызовов функций, формируется в последовательности построения чертежа или 3D модели в AutoCAD. Вызов функции формируется в порядке выдачи запросов при выполнении соответствующей команды AutoCAD в редакторе. Такой принцип разработки программы является доступным и понятным не профессиональным программистам.

Построение линии пересечения плоскостей – одна из задач, решаемых в программном комплексе. Программа разрабатывается в следующей последовательности.

Ввод координат точек:

(command "пск" "3" "100,100,0" "90,100,0" "100,90,0");установка системы координат (setq a (getpoint "\nВведите координаты точки A:"));аналогично вводятся точки B, C, D...

Создание 3D моделей двух плоскостей ABC и DEF:

(command "слой" "у" "плоскость1" "");устанавливается слой – плоскость1

(command "3dплиния" abca "");по координатам точек A, B, C создается 3D полилиния

(setqpl (entlast));имя созданного объекта сохраняется в переменной pl

(command "выдавить" pl "" 0.05 "");создается 3D тело выдавливания

(setq ext1 (entlast));выбор последнего созданного объекта

Выполнение пересечения плоскостей:

(command "объединение" "все" "");выполнение команды Объединение

Начертательная геометрия предлагает собственные методы и алгоритмы решения пространственных задач на чертеже. Их решение моделируется в данной программе.

Выполнение чертежа, нанесение надписей:

(command "рлист" "н" "эпюр1" "");создание нового Листа чертежа  
(command "рлист" "т" "эпюр1");выбор созданного листа  
(command "стереть" "все" "");подготовка чертежа  
(command "видбаз" "м" "масштаб" 1 "н" "спереди" "-43,25" "" "-43,-106" "");проекция  
(command "текст" t\_al 0 "А" "");нанесение названия проекции точки А  
(command "текст" "с" "индекс" t\_al1 0 "1" "");нанесение названия проекции точки А

Программа осуществляет автоматизацию рутинных задач – построение чертежа по данным любого варианта задания, формирование рабочей документации по 3D моделям AutoCAD. При наличии 3D модели имеется возможность осуществить визуальный анализ решения задачи в пространстве на экране компьютера, получить необходимые проекции. С применением AutoCAD можно качественно и в соответствии с требованием ГОСТ оформить любой конструкторский документ. Чертеж выводится в формате PDF.

### **Создание моделей объёмно-планировочных решений жилых и общественных зданий в технологии информационного моделирования**

Альшакова Е.Л.

Научный руководитель – Кобелев Н.С.

ЮЗГУ, г. Курск

Модели объёмно-планировочных решений жилых и общественных зданий предлагается создавать в учебном процессе и при выполнении научно-исследовательской работы в Autodesk Revit – программе проектирования зданий, реализующей технологию информационного моделирования зданий (BIM – BuildingInformationModeling). В основе BIM технологии лежит единая информационная модель здания, которая используется для решения задач проектирования на протяжении всего жизненного цикла объекта от разработки концепции до создания рабочего проекта, возведения здания, его эксплуатации и сноса.

Работа над проектом начинается с создания вариантов формы будущего здания. Различные концепции проектируемого здания могут быть реализованы в одном файле проекта Revit, в единой информационной модели. Для этого в Revit предусмотрен инструментарий создания вариантов с помощью объёмных форм – формообразующих элементов, определения видимости варианта на экране, создания спецификаций для определения по формообразующим элементам технико-экономических показателей будущего здания (площади, объема этажей) и сравнения вариантов с автоматическим формированием чертежей, содержащих общие виды, спецификации вариантов объёмно-планировочных решений здания.

Создаются несколько вариантов эскиза (компоновочного решения здания). Следующий этап – построение формы здания (объёмно-планировочного решения) в соответствии с одним из вариантов. Уровни в модели здания устанавливаются в соответствии с проектом, строятся оси с привязкой к углам формообразующего. Наружные и внутренние стены строятся по осям. Структура

стены, базовый уровень, привязка, высота, смещения снизу и сверху задаются в программе. Строятся фундамент здания, перекрытия, кровли, лестницы, добавляются двери, окна, проемы. Прорабатывается экстерьер здания.

Другой путь при разработке концепции здания с помощью объемных форм – создание формообразующих элементов стен, перекрытий, крыш, навесных стен, а затем преобразование общей концепции формы здания в реальные элементы здания, выбором соответствующих граней объемной формы.

Исследуется возможность создания моделей элементов конструктивной системы нового поколения, которая предлагается для решения задачи возведения многоэтажного жилого здания и включает несущие продольные и поперечные панели-рамы, плиты перекрытия многосвязного поперечного сечения, обвязочные ригели с прямолинейной или криволинейной в плане консольной полкой, имеющей терморазъемы в виде отверстий в полке, наружные слоистые стены. На основе моделей элементов конструктивной системы была создана информационная модель многоэтажного жилого дома. Аналогичная архитектурно-конструктивная система разработана и для общественного здания. Создана информационная модель дошкольного образовательного учреждения. В дальнейшем модели будут использоваться для определения конструктивной безопасности данной строительной системы здания с проведением проектного расчета каркаса здания по предельным состояниям на постоянные и временные нагрузки в программе Autodesk RobotStructuralAnalysisProfessional, использующий для расчета метод конечных элементов.

Планируется выполнить расчет каркаса здания в программе Autodesk Robot на возможные проектные воздействия, вызванные внезапным выключением из расчетной схемы вертикальных несущих элементов, а также провести анализ созданных моделей и проведенных работ по проектированию, показать достоинства применения предлагаемой конструктивной системы для жилых и общественных зданий.

### **Анализ методов расчёта монолитных многоэтажных зданий на внезапное выключение одного из нескольких элементов**

Альшакова Е.Л. , Стариков А.В.

Научный руководитель – Кобелев Н.С.

ЮЗГУ, г. Курск

В соответствии с Федеральным законом N 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» при проектировании здания или сооружения повышенного уровня ответственности должна быть учтена аварийная расчетная ситуация, имеющая малую вероятность возникновения и небольшую продолжительность, но являющаяся важной с точки зрения последствий достижения предельных состояний, которые могут возникнуть при этой ситуации (в том числе предельных состояний при ситуации, возникающей в связи со взрывом, столкновением, с аварией, пожаром, а также непосредственно после отказа одной из несущих строительных конструкций). Как правило, рассматриваемые воздействия при аварийных ситуациях, не предусмотренных условиями нормальной эксплуатации здания, приводят к местным

повреждениям несущих конструкций зданий. При этом в одних случаях на первоначальных повреждениях разрушение прекращается, а в других – несущие конструкции, сохранившиеся в первый момент, не выдерживают дополнительной нагрузки, ранее воспринимавшейся поврежденными элементами, и тоже разрушаются, что приводит к обрушению всего здания или его значительной части. Данная ситуация называется «прогрессирующее обрушение», защита от него – «живучесть».

Для того, чтобы обеспечить возможность выполнения выпускниками ВУЗов расчетов на прогрессирующее обрушение, учебные планы по направлению подготовки Строительство содержат дисциплину «Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях», в рамках которой предусмотрена курсовая работа, посвященная расчетам жилых и общественных зданий на устойчивость против прогрессирующего обрушения при возникновении локальных повреждений, вызванных чрезвычайными ситуациями (ЧС).

В работе были исследованы методы расчета монолитных зданий на устойчивость против прогрессирующего обрушения при ЧС. Специфика расчета определяется особенностями монолитные жилых зданий (по сравнению с другими типами зданий), такими как более «свободные» архитектурно-планировочные решения, широкий шаг стен (или колонн), решениями несущих и ограждающих конструкций.

Методика расчета монолитных жилых зданий на устойчивость против прогрессирующего обрушения представлена в нормативный документах: «Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения, 2005»; «СТО-008-02495342-2009. Предотвращение прогрессирующего обрушения железобетонных монолитных конструкций зданий. Проектирование и расчет».

В настоящее время существуют два подхода к расчету на прогрессирующее обрушение – аналитический, основанный на кинематическом методе теории предельного равновесия, и численный, с использованием различных программных комплексов, в том числе основанных на методе конечных элементов. Полученные на основании статического расчета, усилия в отдельных конструктивных элементах должны сравниваться с предельными усилиями, которые могут быть восприняты этими элементами.

В работе осуществлены: выработка гипотез и сценариев разрушения; постановка задачи численного моделирования поведения конструкций при проектных, фактических и «сценарных» нагрузках; выбор программного комплекса, отвечающих поставленной задаче численного моделирования: для создания информационной модели здания использован AutodeskRevit, для выполнения симуляции, расчета и анализа вариантов структур Autodesk RobotStructuralAnalysisProfessional; задание и моделирование нагрузок (Robot); построение и исследование адекватных математической модели при проектных, фактических и «сценарных» нагрузках; составление результатов исследований.

## **Автоматизация инженерных расчётов в проектировании конструкций из дерева и пластмасс**

Альшакова Е.Л., Устинова М.И.

Научный руководитель – Кобелев Н.С.

ЮЗГУ, г. Курск

Дисциплины, изучаемые студентами направления подготовки (специальности) «Строительство», например, «Конструкции из дерева и пластмасс», «Железобетонные и каменные конструкции», требуют выполнения расчетов строительных элементов. Содержание дисциплин предусматривает выполнение лабораторных работ и курсового проекта и традиционно выполнение расчетов строительных конструкций в них не связано с применением средств автоматизации инженерных расчетов и соответствующих программных продуктов. Расчеты выполняются следующим образом: расчетные формулы, подставляемые числовые значения, результаты набираются в текстовом редакторе Microsoft OfficeWord; вычисления выполняются на калькуляторе или с помощью электронных таблиц. Выполняемые расчеты занимают много времени, трудоемки, могут содержать ошибки, а в случае не выполнения условия соответствия прочности элемента выбранного сечения действующим нагрузкам, приходится изменять размеры сечения и выполнять расчет заново.

Существуют специальные программные продукты для выполнения инженерных и научных расчетов, например, Maple, разработанный канадской фирмой MapleSoft, основное преимущество от применения которого достигается при выполнении одинаковых расчетов с различными исходными данными, таких как при выполнении лабораторных работ и курсовых проектов в образовательном процессе строительных дисциплин.

Maple дает возможность создавать математические модели, проводить их исследование, отображать модели в графическом виде, осуществлять численные расчеты с использованием разнообразных математических моделей. Моделирование и расчеты в Maple осуществляются не только в численном виде, но и в символьном, аналитическом. В этой системе задаются исходные данные, присваиваются значения переменным, записываются формулы, выполняются расчеты, отображаются результаты вычислений. Имеется возможность сохранить файл расчета в формате текстового редактора Microsoft Word – RTF.

Курсовое проектирование конструкций из дерева и пластмасс заключается в конструировании и расчете основных несущих конструкций однопролетного одноэтажного здания, материалом которого является дерево. Предлагаются варианты задания: основная несущая конструкция – дощатоклееная двускатная балка, клефанерная двускатная балка, балка с волнистой стенкой; конструкция покрытия – клефанерная утепленная панель, утепленная панель с обшивками из плоских асбестоцементных листов; место строительства; высота колонн; шаг основных несущих конструкций; пролет здания. Расчеты деревянных элементов выполняются по предельным состояниям: максимальные нормальные или скальвающие напряжения в элементах не должны превышать расчетных сопротивлений материалов, из которых они изготовлены; максимальный относительный прогиб конструкции не должен превышать предельно

допустимых значений. Это выполняется на основе сбора нормативных и расчетных нагрузок и учета сопротивлений материалов. Расчеты деревянных конструкций приводятся в строительных нормах и правилах.

Для выполнения курсового проекта по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» авторы статьи реализовали в Maple расчеты различных вариантов задания. Предлагается примеры расчетов элементов деревянных конструкций представлять студентам не только в методический указания, но и в виде файлов Maple, содержащих подготовленный расчет конкретного элемента. В файле Maple имеется возможность указать требуемые исходные данные и получить подробный расчет и результат. Получив навыки работы в Maple, студенты самостоятельно строят математические модели, выполняют расчеты железобетонных конструкций с формированием аналитического отчета в редакторе Word.

### **Развитие учебного процесса путём внедрения подготовки УП в программе PowerMill и реализации обработки на станке с ЧПУ в Mach3 CNCController**

Белимов В.Д., Болгова А.С.

Научный руководитель — Калачев О.Н.

ЯГТУ, г. Ярославль

Данная работа посвящена вопросам компьютерно-интегрированной конструкторско-технологической подготовки производства с использованием системы компании DelcamAdvancedManufacturingSolutions: САПР высшего уровня – CAMPowerMillSoftwer и системы компании ArtSoftSoftwareIntercopated: NC– система Mach3 CNCController.

В докладе подробно показаны возможности обеих программ, а именно: создание 3D-модели в САД-системах (AutoCAD, T-FLEX, КОМПАС, SolidWorks и др.), конвертирование чертежа в формат "step" САД-системами и загрузка ее в CAMPowerMillSoftwer, визуальная симуляция обработки на станке с ЧПУ, получение управляющей программы, назначение точности обработки. Рассматривается определение оптимального пути инструмента для сокращения времени механообработки, а также мероприятия по уменьшению нагрузки на инструмент. Различные стратегии дают возможность эффективно применять САМ-систему для чистовой, черновой обработки, и их сочетания.

В частности, в работе исследуется процесс загрузки полученной управляющей программы в NC-систему Mach3 CNCController, позволяющую создать управляющую программу из G-кодов и пользовательских M-кодов, управлять перемещением по шести координатам и частотой вращения шпинделя, а также создавать окна видеонаблюдения за процессом обработки и обеспечивать трехмерную симуляцию управляющей программы. Mach3 обеспечивает методы обработки: зубонарезание, сверление отверстия, выборку пазов и шлицев, гравировку текста, обработку стандартных контуров, поверхностную обработка и другое. Для Mach3 поддерживаются следующие режимы работы: PROGRAMRUN (Запуск программы), MDI (Ручной ввод данных), TOOLPATH (Перемещение инструмента), OFFSETS (Привязка инструмента), SETTINGS (Настройки), DIAGNOSTICS (Диагностика). Для

функционирования Mach3 необходима операционная системы Windows 2000, XP, VISTA.

В работе показаны «тонкие» особенности установки PowerMill и Mach3, подготовка программ к использованию и симуляция результатов движения режущего инструмента. Отмечено неудобство требования установки на одном ПК единственной программы – Mach3. Помимо самой системы, обязательно должны быть LPT-порт и DC-DC.

Данное учебно-методическое исследование нацелено на углубленное проектирование управляющей программы в учебном процессе кафедры и практическое ее использование на новом кафедральном станке с ЧПУ в связке с программой PowerMillSoftwer и перспективой его применения в машиностроении.

Таким образом, выполненные характерные примеры индивидуальных заданий по программированию и наладке станка создают предпосылки для успешного внедрения систем PowerMill и Mach3 в учебный процесс кафедры «Компьютерно-интегрированная технология машиностроения» по дисциплине «Автоматизированные системы технологической подготовки производства».

**Постановка задачи разработки макета перспективного  
электронного учебника в целях совершенствования системы  
подготовки курсантов**

Боков М.М., Липунов В.А.  
ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

Для осуществления эффективного обучения курсантов с использованием современных технических средств, основанных на разных принципах получения информации, необходимо, чтобы современный инженер (специалист) ВС РФ владел основами специализированных наук, имел представление о принципах функционирования современных образцов вооружения и военной техники, умел их эксплуатировать и использовать на практике получаемую с их помощью информацию.

Эта задача будет во многом решена путем разработки макета (шаблона) электронного учебника, который позволит любому педагогу в сжатые сроки, с хорошим качеством и на современном уровне сформировать электронное учебное пособие.

Разработка макета перспективного электронного учебника в целях совершенствования системы подготовки курсантов должна производиться в полном соответствии с требованиями федеральных государственных образовательных стандартов высшего (среднего) образования, на основании которого библиотечный фонд вуза должен быть укомплектован печатными и (или) электронными изданиями основной учебной литературы (учебники, учебные пособия и другие учебные издания).

Необходимо также учитывать специфику и особенности образовательного процесса в военных ВУЗах (несение дежурства, суточных нарядов, привлечение к выполнению специальных задач и т.д.).

При разработке электронного учебника должны использоваться различные по своей природе массивы информации, состоящие из элементов текстовых, изобразительных, мультимедийных электронных изданий и т.д.

При создании электронного учебника должны соблюдаться принципы:

- наглядности (каждый модуль должен состоять из коллекции кадров с минимумом текста и визуализацией, облегчающей понимание новых понятий, утверждений и методов);
- ветвления (каждый модуль должен быть связан гипертекстными ссылками с другими для легкого перехода);
- регулирования (обучающийся самостоятельно управляет сменой кадров, имеет возможность вызвать на экран любое количество примеров, решить необходимое ему количество задач, задаваемого им самим или определяемого преподавателем уровня сложности, а также проверить себя, ответив на контрольные вопросы и выполнив контрольную работу, заданного уровня сложности);
- адаптивности (позволять варьировать глубину, сложность изучаемого материала и его прикладную направленность);
- компьютерной поддержки (позволяет освободить от монотонной однообразной работы и сосредоточиться на сути изучаемого материала);
- собираемости (электронный учебник должен быть выполнен в форматах, позволяющих компоновать их в единые электронные комплексы, расширять их новыми разделами и темами, а также формировать электронные библиотеки по отдельным дисциплинам).

### **Лабораторная работа по созданию параметрической модели средствами NX Open/API в NX9.0 на примере противовеса УСП в среде MS Visual Studio**

Гушан Д.Ф.

Научный руководитель – Калачев О.Н.

ЯГТУ, г. Ярославль

Для получения доступа к мастерам MS Visual Studio необходимо:

- Открыть папку «vs\_files», которая находится в папке установленного NX.
- Скопировать содержимое папки «vs\_files» в рабочий каталог Visual Studio.
- Запустить VisualStudio. В качестве типа проектов выберете «C#».
- Выбрать тип создаваемого приложения и типы используемых API.
- Выбрать опции загрузки и выгрузки.

Рассматриваемая библиотека начинается со следующей конструкции:

```
Tag UFPart1;
```

```
string name1 = "model_protves";
```

```
int units1 = 1;
```

```
theUfSession.Part.New(name1, units1, out UFPart1);
```

Первые 3 строки текста применяются для описания переменных.

В последующем блоке описываются 6 однотипных переменных.

```

double[] l1_endpt1 = { -25, 226.5, 0.00 };
double[] l1_endpt2 = { 25, 226.5, 0.00 };
double[] l2_endpt1 = { -25, 243.5, 0.00 };
double[] l2_endpt2 = { 25, 243.5, 0.00 };
double[] l3_endpt1 = { 265 * Math.Cos(3.14159265358979324 / 3), (265 *
Math.Sin(3.14159265358979324 / 3) - 35), 0.00 };
double[] l3_endpt2 = { -(265 * Math.Cos(3.14159265358979324 / 3)), ((265 *
Math.Sin(3.14159265358979324 / 3) - 35)), 0.00 };
double[] direction1 = { 0.00, 0.00, 1.00 };

```

Последующий блок создает 3 новые структуры.

```
UFCurve.Line line1 = newUFCurve.Line();
```

```
UFCurve.Line line2 = newUFCurve.Line();
```

```
UFCurve.Line line3 = newUFCurve.Line();
```

Структуры line1 – line3 относятся к специальному типу NX, соответствующему отрезку.

```
line1.start_point = newdouble[3];
```

```
line1.start_point[0] = l1_endpt1[0];
```

```
line1.start_point[1] = l1_endpt1[1];
```

```
line1.start_point[2] = l1_endpt1[2];
```

```
*****
```

Первая и аналогичные ей строки создают массивы вещественных чисел.

Аналогичные действия проделываем с дугами противовеса.

Зададим параметры выдавливания: угол наклона, начало и конец выдавливания, и т.д.

```
string taper_angle1 = "0.0";
```

```
string[] limit1 = { "-15", "15" };
```

```
string[] Count1 = { "17" };
```

```
Tag wcs_tag1, matrix_tag1, ..., wcs_tag14, matrix_tag14;
```

```
Tag[] features1;
```

Текст, приведенный ниже, отвечает за создание отрезков и дуг в 3D пространстве.

```
Tag[] objarray1 = newTag[17];
```

```
theUfSession.Curve.CreateLine(ref line1, outobjarray1[0]);
```

```
*****
```

Строка, отвечающая за операцию «Выдавливание»:

```
theUfSession.Modl.CreateExtruded(objarray1, taper_angle1, limit1,ref_pt1,
direction1, FeatureSigns.Nullsign,out features1);
```

Создадим диалоговое окно, чтобы удобнее было работать с параметрической моделью. Перед описанием твердотельной модели пропишем точку входа и выгрузку библиотеки.

Далее присваиваем каждому параметру буквенное обозначение и компилируем код.

```
double H, R, r, l, l1, l2;
```

```
int num = dataGridView1.CurrentRow.Index;
```

```
H=Convert.ToDouble(dataGridView1.Rows[num].Cells[1].Value.ToString());
```

```
*****
```

```
l2=Convert.ToDouble(dataGridView1.Rows[num].Cells[6].Value.ToString());
```

## **Использование систем автоматизированного проектирования при изучении дисциплины «Инженерная и компьютерная графика»**

Дьяконов Н.В., Дьяконов Д.В.

Научный руководитель – Янишевская А.Г.

ОМГТУ, г. Омск

В настоящее время студенты, изучающие дисциплину «Инженерная и компьютерная графика», обязаны знать основы компьютерной графики, иметь навыки работы с современными графическими системами и применять в их последующем обучении и профессиональной деятельности. Студенты должны владеть методами и технологиями автоматизированного проектирования алгоритмов, моделей и документации различных объектов и программных продуктов. Для студентов, обучающихся по направлению «Информатика и вычислительная техника» важно приобрести навыки работы в современных системах автоматизированного проектирования.

В рамках этой дисциплины изучаются основные функциональные возможности современных графических систем. Рассматриваются классификация и обзор современных графических систем. Изучается организация диалога в графических системах: диалог, иницируемый ЭВМ, диалог иницируемый пользователем. Отдельным разделом изучается САПР в радиоэлектронике, примеры и использование. Рассматриваются: тенденции построения современных графических систем; дается определение ядра графической системы; изучается модель функционирования ядра графической системы в графической системе. В некоторых группах изучаются приложения - назначение, особенности данного вида прикладных программ.

Практические занятия и лабораторные работы ведутся с использованием отечественного программного продукта компании АСКОН КОМПАС-3D. Изучаются режимы работы в двумерном редакторе чертежей; создание изображений и способов задания графических примитивов. Создаются библиотеки условных графических обозначений элементов схем электрических. Из созданных библиотек элементов формируются схемы электрические: структурные, функциональные и принципиальные, а также создается необходимая конструкторская документация, в том числе перечень элементов в соответствии с ГОСТ. После выполнения цикла таких лабораторных работ у студентов младших курсов появляются навыки проектирования конструкторской документации, в соответствии с ГОСТами, действующими у нас в стране.

В дальнейшем, на последующих занятиях изучаются способы создания трехмерных деталей и сборочных единиц в КОМПАСе. Студенты занимаются моделированием элементов печатных плат: резисторов, конденсаторов и других, а затем выполняют сборку 3D моделей печатных плат и изделий приборостроения. Выполняются все виды редактирования и изменения свойств деталей, в системе КОМПАС-3D. При необходимости выполняются чертежи полученных моделей, также выполненных по правилам конструкторской документации.

Несколько занятий посвящается ознакомлению и получению навыков работы в других системах, таких как AutoCAD и SolidWorks.

Таким образом, студенты получают навыки работы в современных системах автоматизированного проектирования, изучают основные функциональные возможности таких систем, изучают организацию диалога в современных графических системах.

## **Компьютерное моделирование зон обслуживания авиационной и космической техники**

Е Вин Тун

Научный руководитель – Маркин Л.В.

МАИ, г. Москва

При проектировании, изготовлении и обслуживании авиационной и космической техники, отличающейся высокой плотностью компоновки, является актуальной задачей обеспечение зон обслуживания размещаемого оборудования. Оно необходимо не только для того, чтобы обеспечить нормальные условия монтажа-демонтажа и обслуживания размещенной техники, но и ее нормального функционирования.

До недавнего прошлого решение этого вопроса осуществлялось натурным моделированием, при котором создавался физический макет проектируемого изделия, после чего группа специалистов решала, насколько удачной оказалось компоновка оборудования. При очевидной наглядности этого метода его использование связано с большими затратами времени и материальных ресурсов на физическое моделирование. Поэтому актуальной задачей является компьютерное моделирование процесса обслуживания размещенного оборудования в технических отсеках летательных аппаратов.

Сущность используемого в данном исследовании методологического подхода заключается в моделировании пространственных перемещений оборудования, необходимого для выполнения работ по обслуживанию данных агрегатов. Для каждого агрегата определяется набор необходимого для его монтажа-демонтажа оборудования (отвертки, гаечные ключи, специальные монтажные инструменты и т.п.), на основании чего формируется геометрическая модель этого оборудования. Далее определяются необходимые движения как для самого процесса монтажа (например, вращательные движения гаечного ключа), так и процесса доставки монтажного инструмента в рабочую точку. Таким образом, моделирование этого процесса является достаточно сложной задачей геометрического моделирования.

Выбранный в исследовании метод геометрического моделирования - рецепторный, при котором объект представляется комбинацией дискретных элементов (рецепторов). Этот метод моделирования имеет как свои преимущества, так и свои недостатки. К преимуществам метода относится поразительно простое определение условия взаимного пересечения объектов, описанных рецепторными моделями. В нашем исследовании создается рецепторная геометрическая модель не только монтажного оборудования, но и всей траектории его перемещения в рабочую точку и рабочих движений этого оборудования в процессе монтажа-демонтажа. В докладе показан процесс создания столь сложной геометрической модели, который осуществляется элементарным пошаговым перемещением инструмента и формированием

модели как совокупности всех этих пошаговых перемещений. Таким образом, вся траектория перемещения и рабочего пространства монтажного инструмента рассматривается в нашем исследовании как компонентный объект, который необходимо рационально разместить среди уже размещенного оборудования летательного аппарата. Невозможность такого размещения автоматически означает принципиальную невозможность осуществления нормального использования этого монтажного оборудования в рабочей зоне. Реализация рациональных алгоритмов размещения и графическая оболочка для визуализации возможных зон обслуживания при реализации этих алгоритмов выполнена на языке C#.

Результаты этого исследования используются в учебном курсе МАИ по геометрическому моделированию для аспирантов, обучающихся по специальности 05.01.01 "Инженерная геометрия и компьютерная графика".

### **iTALC- программное обеспечение для сопровождения инженерной графической подготовки студентов строительного вуза**

Ильин Е.О.

Научный руководитель – Вольхин К.А.

Сибстрин, г. Новосибирск

Контроль над содержанием аудиторной работой студентов в компьютерном классе в различных вузах решается по-разному: от лишения всех прав на администрирование до закрытия доступа к сети интернет. Все эти мероприятия предназначены для исключения возможности студента заниматься не относящимися к учебному процессу делами. С широким распространением мобильных устройств запретительные методы потеряли свою эффективность. Уровень компьютерной грамотности студентов достиг такого состояния, что сопровождение их аудиторной учебной деятельности преподавателем без применения специализированных программ значительно осложнилось. Существует большое количество программных продуктов, предназначенных для удаленного управления компьютерами, но для организации учебной групповой деятельности студентов этот круг значительно сужается. Следует отметить, что программное обеспечение этого типа разрабатывалось для школ и было направлено на создание условий учителям эффективно организовать работу с учащимися в классах, оборудованных компьютерами [1].

Оценив инструментальные возможности различных систем, мы остановились на программе iTALC [2]. Аббревиатура iTALC (Intelligent Teaching And Learning with Computers) переводится как «Интеллектуальное обучение и изучение с использованием компьютеров», данная система является свободно распространяемым программным продуктом и позволяет применять компьютеры для улучшения практически любой учебной среды образовательного учреждения. iTALC облегчает взаимодействие между преподавателем и учащимся и позволяет учителю вести наблюдение за работой

учеников на компьютере [3].

Применение iTALC в компьютерном классе кафедры начертательной геометрии Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин) в течении 2015-16 учебного года для организации аудиторных занятий по дисциплинам начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика позволяет выделить основные достоинства системы. В первую очередь – это контрольная функция – в режиме реального времени на компьютере преподавателя отображаются действия всех студентов, работающих в классе. Функция удаленного управления компьютером позволяет оказать своевременную помощь студенту при возникновении затруднения в работе над индивидуальным графическим заданием. Возможность трансляции рабочего стола компьютера преподавателя на экраны всех компьютеров класса, наряду с проектором, позволяет акцентировать внимание студентов на транслируемом учебном материале.

Литература

Системы управления классом [Электронный ресурс]. Материал из Letopisi.Ru – «Время вернуться домой».

iTALC - Intelligent Teaching And Learning with Computers [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://italc.sourceforge.net/home.php> - Дата обращения: 12.03.2016

Лимасов, А. iTALC - ПО для управления компьютерным классом [Электронный ресурс] Сеть учителей и работников образования. Режим доступа: <http://imteacher.ru/stati/predmeti/informatika/italc-po-dlja-upravlenija-kompyuternym-klassom.html> - Дата обращения: 12.03.2016

## **Использование библиотеки boost.Python при написании приложений**

Карельский А.Л.

Научный руководитель – Шафеева О.П.

ОмГТУ, г. Омск

В процессе подготовки инженерных кадров при изучении различных языков программирования, можно заметить, что у каждого языка есть свои особенности, сильные и слабые стороны. При переходе с одного языка программирования на другой, часто не хватает некоторых возможностей другого языка или уже написанных библиотек, которые сложно перенести в новую среду. Чтобы попытаться решить эту проблему можно использовать “вставки кода”. Ярким примером использования связки нескольких языков, может быть игра, логика которой использует один язык, но за отрисовку объектов, отвечает совсем другой. Ниже пойдет речь о библиотеке boost.Python и о её использовании, для объединения таких языков программирования как Python и C++.

Библиотека boost.Python сейчас является наиболее популярным решением, когда речь идет об объединении данных языков. Эта библиотека очень проста в

применении и при этом позволяет использовать как вставки C++ кода в Python, так и наоборот. Конечно у этой библиотеки есть свои тонкости, поскольку C++ и Python это разные языки программирования, структуры которых отличаются.

Для начала работы с библиотекой нужно сначала её установить и подключить к проекту, в C++ это будет выполняться подключением дополнительных каталогов этой библиотеки. При написании проекта заготовка на C++ для создания класса, используемого Python, будет выглядеть примерно так:

```
#include <boost/python.hpp>
using namespace boost::python;
BOOST_PYTHON_MODULE( example ) { ... },
```

где BOOST\_PYTHON\_MODULE – это макрос, example – это модуль, который будет использоваться в python. Допустим в проекте C++ создан класс, который называется Class1, его конструктор на вход будет принимать два аргумента arg1 и arg2 типов int и string соответственно. Чтобы в Python можно было использовать класс, необходимо заключить в операторные скобки, которые связаны с макросом, следующий код:

```
class_<Class1>( "Class1" ).def( init<int,string>( args( "arg1", "arg2" ) ) ).
```

Теперь можно собрать модуль, импортировать его из интерпретатора Python и даже создать экземпляр класса. Для примера добавим в ранее созданный класс метод под названием foo, который не будет принимать аргументов и будет возвращать значение типа int. Для этого необходимо изменить выше приведенную строку следующим образом:

```
class_<Class1>( "Class1" ).def( init<int,string>( args( "arg1", "arg2" ) ) ).def( "foo", &Class1::foo );
```

Основа класса готова, чтобы её использовать в Python, нужно только импортировать в самом Python-коде файл «example».

Данный пример достаточно прост, возможности библиотеки boost.Python на этом не ограничиваются и позволяют создавать и использовать более сложные классы, а также применять к уже существующему коду для переноса его на другие платформы, это во много раз эффективнее, чем писать новый код на другом языке с нуля, к тому же код C++ будет исполняться быстрее, чем Python, поэтому эти два языка часто объединяют.

## **Разработка информационной модели для задач планирования на производстве**

Клокова Л.А.

Научный руководитель – Семенов Г.Е.

МАИ, г. Москва

Задачи технологического проектирования и производственного планирования являются одними из ключевых элементов жизненного цикла изделия. В инженерном образовании студентов информационных специальностей важно развивать навыки проектирования и построения крупных информационных систем. В работе навыки, полученные в курсах “Базы данных” и “Программирование” применены для построения элементов системы планирования, выполнена отработка инструментов получения отчетов для сформированных партий, применены шаблоны, включающие настраиваемые

фильтры (поиск партии по изделию, по заказу, а также отчеты, отражающие разбивку партии по заказам). Система планирования требует развертывание и администрирование серверов корпоративных баз данных (SQL SERVER, ORACLE, DB2). Также в работе рассмотрены вопросы разработки информационной, реляционной модели такой системы.

Задачи планирования оперируют с большими массивами информации, включающие конструкторско-технологический состав изделий, ресурсные ограничения цехов. Предлагаемая реляционная модель включает в себя четыре уровня представляемой информации: модель заказа, информационную модель, включающую конструкторско-технологические и производственно-технологические данные, сетевую модель хранения спроектированных партий, информационную модель производственного склада.

В составе базы конструкторско-технологических данных, необходимых для решения задач технической подготовки производства, можно выделить несколько слоев: конструктивно-технологические характеристики изделия; технико-экономические параметры; технологические процессы изготовления изделия; элементы технологического оснащения производства; технологические процессы изготовления элементов оснащения производства. База производственно-технологических данных, используемых для решения задач планирования, оперирует: видами производственных процессов; составом и взаимосвязями производственных заданий; ресурсными ограничениями цехов; организационно-экономическими параметрами; совокупностью ресурсных характеристик.

Первый слой описывает структуру конструкторско-технологической спецификации. Конструкторская спецификация может быть представлена в многовариантном виде, каждому из вариантов назначена своя версия. Второй слой описывает модель заказа: планы, потребности, заказы. В третьем слое информационной модели, хранятся данные по спроектированным объектам: партии, состав партии. Четвертый слой информации описывает модель цеховых складов и информацию, отражающую потоки продукции от цеха датчика к цеху потребителя. Проектирование состоит из нескольких этапов: Загрузка планов из реляционной базы, группировка маршрутов из разных заказов в единую партию, расчет оптимального размера партии с учетом размеров контрольно-выборочных и периодических испытаний. Этап проектирования выполнен с помощью внешних процедур на языках высокого уровня.

Отображение результатов происходит в типовых формах на стороне клиента, где далее с помощью дополнительных фильтров может быть проведена дополнительная фильтрация информации путем дополнительных ограничений. Отображение результатов происходило с помощью компонентов библиотеки DevExpress, включающей средства построения диаграмм и гибкие средства фильтрации информации, представленной в табличном виде. Основными формами являются: итоговые отчеты о сроках выполнения заказов в рамках выбранного плана, отчеты о сроках запуска партий в рамках выбранных заказов и планов, отображение маршрутов изготавливаемого изделия в рамках выбранного заказа или плана, диаграммы Ганта и диаграммы загрузки цехов.

## **Компьютерное моделирование внешней компоновки солнечных батарей космических летательных аппаратов**

Куи Мин Хан

Научный руководитель – Маркин Л.В.

МАИ, г. Москва

В докладе рассмотрено решение проблемы автоматизации размещения и ориентации солнечных батарей и концентраторов как на земле, так и на космических летательных аппаратах (КЛА). Цель исследования - оценить взаимное затенение солнечных батарей как между собой, так и другими объектами (например, космической станцией). Данная задача рассматривается как оптимизационная задача математического программирования, направленная на максимально эффективное использование этих высокотехнологичных источников энергии в космических орбитальных станциях и космических поселениях. Метод решения - геометрическое моделирование космической станции и солнечных батарей с определенной ориентацией.

В нашем исследовании мы сводим задачу оптимизации размещения солнечных батарей КЛА к задаче математического программирования. Предположим, что у нас имеется пространство размещения солнечных батарей, в котором нам необходимо разместить и ориентировать некоторое количество солнечных батарей. Целью исследования является компьютерное моделирование конкретной геометрии солнечных батарей КЛА и их расположение относительно самой КЛА (из области допустимых конструктивных решений самой КЛА) относительно потока энергии Солнца. Наша цель – получить в данный момент (т.е. при данной ориентации КЛА) максимальную энергию солнца, определяемую максимальной эффективной площадью солнечных батарей.

Очевидно, что максимальная энергия вырабатывается солнечными батареями тогда, когда они не затеняются сами корпусом космической станции и не затеняют друг друга. Для решения поставленной задачи в нашем исследовании мы применим сравнительно редко используемый метод геометрического моделирования – метод дискретизации пространства, или рецепторные геометрические модели. В основу рецепторного метода (известного также как «матричный», «бинарный», «перечисления элементов пространства» и т.д.) положено приближенное представление геометрического объекта в поле или пространстве рецепторов. Преимуществом рецепторных геометрических моделей является легкость решения многих позиционных задач геометрии (например, определение условия взаимного непересечения объектов, описанных рецепторными моделями), недостатками – необходимостью преобразования пространственных объектов, описанных средствами конструктивной геометрии в технической документации, в рецепторную форму и обратное преобразование. Вопросы компьютерной реализации рецепторных моделей, бывшие преткновением на начальном этапе развития вычислительной техники, когда эти рецепторные модели и были предложены А.Д. Зозулевичем (середина 60-х годов прошлого века), в настоящее время успешно преодолены развитием аппаратных и программных средств вычислительной техники.

Нами предложен метод, позволяющий на основании рецепторной геометрической модели производить расчет эффективной площади солнечных батарей космического летательного аппарата (КЛА) при различной совокупности его конструктивных параметров (геометрических форм) и ориентации относительно направления потока энергии. Разработаны математические модели и создан программный комплекс на языке C#, позволяющий производить такие расчеты и визуализировать полученные результаты. В результате работы этого программного комплекса при любой заданной геометрической форме КЛА и любой его ориентации относительно направления солнечных лучей возможно вычисление суммарной эффективной площади солнечных батарей с учетом их взаимного затенения и затенения корпусом КЛА.

Результаты этого исследования используются в учебном курсе МАИ по геометрическому моделированию для аспирантов, обучающихся по специальности 05.01.01 "Инженерная геометрия и компьютерная графика".

## **Язык Python и внедрение в учебный процесс Autodesk Fusion 360**

Кушнарев Ю.А.

Научный руководитель – Калачев О.Н.

ЯГТУ, г. Ярославль

Autodesk Fusion 360 – это CAD/CAM/CAE система, которая использует облачную технологию хранения данных. Файлы, хранящиеся на специальном сервере («облаке»), доступны на любом компьютере, планшете, смартфоне и других устройствах. Также в Fusion 360 реализована технология командной работы. Сотрудники предприятия могут создавать 3D-модели, сохранять их в облаке. Также во Fusion 360 реализована технология просмотра 3D-моделей в окне интернет-браузера, который поддерживает технологию WebGL (библиотека для языка программирования JavaScript, позволяющая создавать 3D-графику для интернет-браузеров). Для просмотра подобных 3D-моделей не обязательно иметь установленный на ПК Fusion 360. Облачная технология позволяет оперативно решать проблемы и задачи на производстве, заменить практически всю бумажную документацию на 3D-модели, где будет храниться вся необходимая технологам информация по детали, например допуски на размеры, шероховатость поверхности и другие.

В программе Fusion 360 заложена возможность написания программ, ускоряющих и облегчающих работу пользователей.

Программы, выполняющие определенную последовательность действий, которые пользователь мог выполнить вручную, называются скриптами. Скрипты целесообразно использовать, когда пользователю необходимо произвести некоторое действие многократно. На создание, например, болта, пользователь может потратить большое количество времени, особенно если ему необходимы болты с разными геометрическими параметрами. В среде Autodesk Fusion 360 скрипты можно создавать на трех языках программирования: C++, Java Script и Python. В данной работе рассматривается скрипт создания типовой модели на языке Python.

Отличительной особенностью языка Python является отсутствие операторных скобок (например, `begin...end` в Pascal). Выделение блоков кода осуществляется с помощью отступов. Такой подход позволяет избежать дополнительных символов в программе и обучает писать программы, которые проще визуально воспринимать. Также язык Python не требует явного объявления переменных и их типов, в отличие от других языков программирования.

В ходе данной работы были изучены возможности моделирования в САД модуле системы Fusion 360, создан скрипт, формирующий тестовую 3D-модель, в котором используется диалоговое окно для задания размеров, изучена объектная модель, используемая при программном построении объектов Fusion 360. Всё вышеперечисленное является полезным материалом для изучения на кафедре «Компьютерно-интегрированная технология машиностроения» по дисциплине «Цифровое прототипирование».

### **Информационные технологии эргономики в инженерном образовании**

Меденкова О.С., Соловьева Я.Ю.

Научный руководитель – Нестерович Т.Б.

МАИ, АО ГосМКБ «Вымпел» им. И.И. Горопова, г. Москва,

Подготовка специалистов в области учета возможностей и характеристик человека при разработке и эксплуатации авиакосмической техники представляется актуальной задачей, подлежащей решению в интересах повышения психофизиологической надежности профессиональной деятельности летного состава и космонавтов. Проектирование бортового оборудования, систем жизнеобеспечения и технических средств подготовки летчика и космонавта, обеспечивающих надежность их профессиональной деятельности, невозможно без использования знаний о возможностях преобразования информации и принятия решений человеком, влиянии факторов авиационного или космического полета на его функциональное состояние и эргономических методах, способах и информационных технологиях учета этих знаний. Обучение студентов аэрокосмических образовательных учреждений этим технологиям может рассматриваться как специальное направление обеспечения безопасности полетов и конкурентоспособности отечественной авиационной и космической техники за счет внедрения при ее разработки и эксплуатации технологий учета человеческого фактора. В Московском авиационном институте на кафедре системы оборудование летательных аппаратов факультета авиационной техники разработан и читался курс «Авиационная инженерная психология и психофизиология летного труда». Его основной целью являлось изложение знаний в области авиационной психологии, эргономики и медицины, необходимых для использования в процессе инженерно-психологического проектирования оборудования летательных аппаратов и наземных систем управления полетами, оценки конструкторских и аппаратно-программных решений с учетом возможностей летчика или космонавта. Основными разделами этого курса являлись знания о психофизиологических закономерностях профессиональной деятельности летчика и космонавта, методах анализа и оценки алгоритмов, средств и условий их труда, методах

учета при проектировании летательных аппаратов психофизиологических возможностей и характеристик человека-оператора. Практические занятия в этом курсе предусматривали проведение специальных исследований по оценке психофизиологических возможностей человека и характеристик его восприятия, памяти, внимания и других психических процессов, а также свойств личности и функционального состояния и их влияния на эффективность информационной подготовки и принятия решений, ситуационную осведомленность и пространственную ориентировку. При этом особое внимание уделялось оценке средств отображения информации и органов управления и влиянию их эргономических недостатков на качество преобразования информации человеком-оператором и выполнение им управляющих действий. Повышенный интерес у студентов вызывали практические занятия, посвященные психологическому тестированию свойств и качеств личности и выявлению их связи с успеваемостью по разным предметам и показателями решения задач различной психологической структуры и логической сложности. Полученные знания и навыки разработки математических моделей взаимосвязи факторов и условий, подлежащих учету при проектировании деятельности человека-оператора, анализировались, обобщались и использовались студентами для подготовки докладов на конференциях, проводимых Московским авиационным институтом по проблемам авиационной психологии, психологии труда и эргономики.

## **Принципы реализации программного комплекса интеллектуальной поддержки и обеспечения безопасности функционирования СДО МАИ CLASS.NET**

Мхитарян Г.А., Рыбалко А.А.

Научный руководитель – Наумов А.В.

МАИ, г. Москва

Современные системы дистанционного обучения представляют собой сложный комплекс технических и алгоритмических компонент. В рамках высокой конкуренции между системами особое внимание должно уделяться безопасности систем и внутреннему функционалу. Опираясь на концепцию «computer-adaptive testing (CAT)», основным направлением модернизации СДО МАИ CLASS.NET выбрано развитие интеллектуальной поддержки системы, т.е. алгоритмов и программного обеспечения, направленных на изменение сценария работы СДО и выборочного использования контента в зависимости от контингента пользователей, уровень знаний которых оценивается на основе статистической информации, полученной в период работы с СДО.

Важной составляющей частью развития системы интеллектуальной поддержки является корректная и безопасная интеграция разработанного программного комплекса в структуру СДО. Указанный программный комплекс содержит такие составляющие как алгоритм вычисления интегрального рейтинга студентов, алгоритм оценки сложности заданий и тестов, алгоритм формирования тестов ограниченных по времени для группы студентов и др. Комплекс использует вероятностные модели поведения пользователей в рамках работы с СДО: модели Раша для описания вероятности ответа пользователя на

задание и модели Ван дер Линдена для описания времени ответа пользователя на задание. Программный комплекс содержит специальные оптимизационные процедуры для оценки параметров указанных моделей на основе накопленной статистики о работе пользователей.

Использование алгоритмов математической поддержки требует большого количества вычислений, что предполагает большую нагрузку на сервер и требует определенной организации последовательности вычислительных процессов. Для этого, с учётом нагрузки на сервер, определен порядок проведения вычислений.

Другим основным направлением является обеспечение безопасности работы системы, т.к. с увеличением числа пользователей и соответствующей нагрузки на сервер повышается риск сбоев и появления атак злоумышленников. Для обеспечения безопасности СДО CLASS.NET проведён ряд мероприятий:

- рассмотрены каналы потенциальных угроз;
- проведён анализ связей СДО CLASS.NET и построена текущая модель связей системы с СДО по стандарту IDEF-0;
- построена схема безопасности сети с учетом возможности захвата злоумышленником одного из внутренних серверов, таких как система-модуль СДО;
- построена экспертная модель потенциальных угроз.

Для изоляции компонентов инфраструктуры СДО CLASS.NET применены технологии виртуализации. Предложенные модули сетевой безопасности реализованы как виртуальные машины, а также ряд модулей, не связанных с сетевой коммутацией, реализован как виртуальные контейнеры.

## **Организация процесса преподавания с использованием web-технологий**

Пивоваров Д.Е.  
МАИ, г. Москва

Тенденции развития и внедрения информационных технологий в организацию учебного процесса в средней и начальной школе привели к компьютеризации рабочего места учителя. Теперь итоги успеваемости и учет посещаемости должны дублироваться из традиционного бумажного журнала в электронный журнал учителя и дневник ученика. Понятие журнала как такового отсутствует в высшей школе. Журнал младших курсов содержит лишь учет посещаемости. Тем не менее в учетных карточках преподавателей стали появляться графы, связанные с оценкой успеваемости студентов. Ранее контроль знаний студентов осуществлялся лишь в ходе рубежных контрольных и самостоятельных работ и в результате сдачи экзамена или зачета по предмету. Отсутствие понятия успеваемости обусловлено скоростью подачи материала, которая на порядок выше в вузе по сравнению со школой. Большую часть времени у доски в вузе проводит преподаватель, и вести «журналирование» своей деятельности и устраивать повальные опросы он просто не в состоянии. Однако современные мобильные устройства с удобным управлением дают возможность быстро манипулировать нужными данными и в случае надобности мгновенно сохранять их в «облако», куда можно обратиться с любого

устройства и из любого места. Таким образом, во время занятий, преподаватель может пользоваться мобильным устройством с целью ведения «журналирования» не только без ущерба для самого учебного процесса, а во благо, так как занесенные данные открывают широкое поле для статистической обработки и коррекции самих учебных планов.

В настоящей работе автор реализовал описанный подход на практике. Результатом этой реализации стало web-приложение. Перед учебным семестром по мере поступления информации от кафедры преподаватель заполняет свой план, куда вводит расписание пар. От старост групп доходят списки со студентами, который также заносятся в приложение. После этих и других подготовительных процедур дальнейшие манипуляции связаны лишь с ведением учебного процесса. При этом заранее в систему загружаются учебные планы.

В ходе реализации настоящего подхода была построена модель данных приложения, спроектирована структура базы данных и предложен соответствующий интерфейс для мобильного устройства. Написанное web-приложение может быть расширено на кафедру, факультет и даже вуз. При должной организации учебного процесса отпадает надобность в передаче преподавателям бумажных копий учебных планов. Эти планы они всегда могут посмотреть в любой момент на мобильном устройстве. Методисты могут обновлять планы и быть уверенными, что преподавателям доступны их последние редакции. В любой момент оказывается доступна статистика ответов у доски, списки «прогульщиков» и соответствие фактических занятий формальным планам. Данный подход открывает перспективы отказа от бумажных версий документов и перехода к электронному документообороту, в том числе при приеме экзаменов и зачетов. Для этого потребуются ввести электронные цифровые подписи преподавателей.

### **Конечно-элементное моделирование осесимметричной детали**

Показанев М.В.

Научный руководитель – Огородникова О.М.

УФУ, г. Екатеринбург

Внедрение систем компьютерного инженерного анализа (CAE) в научно-исследовательскую работу студентов (НИРС) магистратуры позволяет эффективно решать прикладные задачи проектирования сложных технических изделий. В данной работе в рамках НИРС компьютерному исследованию подвергнуто соединение оболочки вращения, выполненной из керамики, с металлическим опорным кольцом, изготовленным из нового суперинварного сплава с улучшенными механическими характеристиками.

Расчет напряжений и деформаций проведен на параметрических 3D-моделях методом конечных элементов. Конечно-элементная сетка анализируемой конструкции сгенерирована из трехмерных твердотельных конечных элементов с квадратичной функцией формы. Составлена программа на языке ANSYS APDL, которая позволяет варьировать геометрические размеры модели, материалы деталей сборки, разброс механических свойств в макрообъеме, величину нагрузки. Разброс механических свойств инварного сплава в кольце

рассмотрен относительно исходного варианта, предполагающего однородность и изотропность материалов. Граничные условия в виде давления на внутреннюю цилиндрическую стенку инварного кольца задано равным пределу прочности керамики 50 МПа.

С целью верификации вычислительной модели проведено сравнение результатов аналитического и конечно-элементного расчета для толстостенных цилиндров при условии однородного распределения механических свойств в объеме. Результаты расчета радиального напряжения в сечении инварного кольца и керамической оболочки плоскостью симметрии, полученные аналитически и на конечно-элементной сетке в ANSYS, совпадают.

По верифицированной вычислительной модели проведено компьютерное исследование соединения инварного цилиндра и керамического в предположении неравномерного распределения модуля Юнга в инварном цилиндре. Характеристиками напряженно-деформированного состояния для керамического цилиндра выбраны максимальные значения радиального и окружного напряжения в цилиндрической системе координат, и максимальное радиальное перемещение в зоне контакта с инварным кольцом. Распределение модуля нормальной упругости в интервале значений от 140 до 175 ГПа задано по секторам инварного кольца случайным образом.

Компьютерное исследование напряженно-деформированного керамической оболочки в нагруженной осесимметричной конструкции с учетом неоднородного распределения структурных характеристик в опорной металлической детали показало [1], что разброс модуля Юнга в пределах 140-175 ГПа в опорной инварной детали практически не влияет на прочность и жесткость контактирующей керамической детали при силовом нагружении.

#### Литература

1. Огородникова О.М., Максимова Е.В., Показанев М.В. Компьютерное исследование нагруженной осесимметричной конструкции с учетом неоднородного распределения структурных характеристик в опорной детали. // Двойные технологии, 2014, № 1 (66). – С. 19-24.

### **Методы визуализации данных в имитационных системах**

Родителей А.В., Мамросенко К.А.

Научный руководитель – Решетников В.Н.

ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, г. Москва

Имитационные модели находят широкое применение в различных областях: авиационно-космической промышленности, машиностроении и т.д. Зачастую имитационные модели применяются при отсутствии возможности или нецелесообразности проведения подготовки персонала на реальной системе, в том числе, в условиях, принудительно не реализуемых в реальной среде или по причине длительности приведения системы в исходное состояние для начала отработки навыков.

Разработка виртуальной трехмерной модели по исходным данным для использования в имитационных системах представляет собой ресурсоемкую вычислительную задачу. Исходные данные могут быть представлены в виде множества ячеек - выпуклых многоугольников с 8 вершинами. Для

визуализации необходимо определить минимальное количество точек, необходимое для корректного построения трехмерной модели с учетом освещения и порядка обработки вершин. Так как данные о позиции вершин многоугольника есть только для 8-ми точек, то производится их копирование в заданном порядке для создания 24 вершин. Следовательно, сторона многоугольника будет иметь 4 вершины, общее количество сторон равно 6. После чего производится аппроксимация модели сеткой треугольников – процесс триангуляции. Каждая сторона многоугольника представляется двумя треугольниками, у которых есть две общие точки, соответственно, на каждую общую точку придется по две нормали, что может привести к некорректному освещению модели. Нормаль – это вектор к поверхности в некоторой точке, перпендикулярный поверхности (т.е. касательной к ней плоскости) в этой точке. Чтобы избежать данной ситуации нужно произвести суммирование двух нормалей смежных точек треугольников для вычисления результирующей нормали. Таким образом, на каждую точку будет приходиться одна нормаль, что позволит корректно отобразить виртуальную трехмерную модель многоугольника. После этого производится приведение вектора к единичной длине и занесение в итоговый массив нормалей для передачи его в OpenGL.

Для сопоставления вершин полигональной сетки с определенными пикселями в текстуре (текселями) применяются текстурные координаты. Текстурные координаты представляют собой два числа  $U$  и  $V$  с плавающей точкой для осей  $X$  и  $Y$  текстуры, значения которых лежат в отрезке  $[0; 1]$ . Для вычисления текстурных координат требуется учитывать размер текстуры – двумерного растрового изображения, которое накладывается на поверхность. В ряде случаев при наложении текстуры возможно появление графических артефактов, которые выражаются в виде мерцания ячеек при перемещении виртуальной камеры. Происходит это из-за того, что не хватает точности типа данных для хранения вещественных чисел, применяемого в видеоадаптерах, вследствие чего поочередно выбираются соседние пиксели текстуры. Для решения этой проблемы был разработан алгоритм, при помощи которого удалось избежать мерцания объектов при отображении путем повышения точности определения пикселя текстуры для каждой ячейки модели.

Предложенные методы и алгоритмы обеспечивают визуализацию данных в режиме реального времени с сохранением высокой визуальной реалистичности.

Работа выполняется при поддержке РФФИ, грант № 14-07-00020-а.

Литература

1. Гиацинтов А.М., Мамросенко К.А. Воспроизведение потоковых видеоматериалов в подсистеме визуализации тренажерно-обучающей системы. // Программная инженерия. 2014, № 7. – С. 33–39.

## **Разработка комплексной модели на примере изделия «Фиксаторы для сварки»**

Светличный В.С.

Научный руководитель – Семенов Г.Е.

МАИ, г. Москва

Техническая подготовка производства является ключевым элементом жизненного цикла изделия. Большое значение в инженерном образовании необходимо уделять подготовке специалистов, владеющих средствами автоматизированного проектирования. Описание создаваемого объекта, ведется в двух классах систем: управляющих всем жизненным циклом PLM и автоматизирующих всю управляющую деятельность ERP. PLM системы объединяют группу программных продуктов, ориентированных на решение задач проектирования и конструкторско-технологической проработки решений (PDM, CAD, CAM, CAE). В образовательном процессе не всегда возможно обеспечить доступ студентов ко всем этим систем из-за их высокой стоимости.

На кафедре разработаны программные средства, позволяющие выполнять цепочку проектирования без применения дорогостоящих систем. Основным средством визуализации плана проекта являлись диаграммы Гантта, построенные программным способом в MS Project, единственной закупленной программой для процесса обучения. Основой всех программ, написанных на кафедре явился универсальный аппарат структурно-параметрического моделирования, разработанный на авиамеханическом факультете МАТИ. Цель данной работы являлась отработка цепочки проектирования: описание конструкторско-технологической модели изделия, отработка ее в технологическом моделлере и получение техпроцесса изделия. Для определения продолжительности работ и затрат на их выполнение и визуализации плана был выполнен экспорт модели в MS Project.

В ходе разработки был проведен анализ чертежей, спецификаций и технического описания элементов конструкции и технологии изготовления изделия «Фиксаторы для сварки», построены конструкторско-технологические модели. Математические модели изделия содержат описание структуры, состава конструктивно-технологических свойств и параметров изделия. Модели технологической системы содержат математическое описание структуры и технологических свойств элементов производственных подразделений (цехов, участков, поточных линий и т.п.), технологических процессов и средств оснащения производства. В рамках данной работы созданы геометрические модели деталей и сборки изделия, реализована система параметризации.

Проектирование осуществлялось с помощью технологического моделера. Система алгоритмов технологического проектирования в сочетании с типовыми математическими моделями позволяет создать единую модульную систему программного обеспечения для проектирования технологических процессов разного уровня детализации и разной степени унификации, для различных видов производств (механообработки, сборки, заготовительно-штамповочных, и др.), что существенно расширяет возможности и повышает эффективность автоматизированного проектирования.

Для визуализации результатов проектирования использовались инструменты Ms Project. Для определения длительности и стоимости изготовления изделия использовалась диаграмма Гантта, определяющая продолжительность работ и затраты на их выполнение. Для определения ресурсных характеристик использовалась диаграмма Resource Usage (Использование ресурсов). Она предназначена для анализа нагрузки ресурсов в проектных работах. Диаграмма позволяет оценить общую нагрузку ресурса за любой период времени и проанализировать, из участия в каких задачах она складывается.

Таким образом, в работе отражены основные задачи на стадии подготовки производства, требуемые при обучении специалистов в области автоматизированного проектирования. Показана интеграция систем различного уровня.

## **Внедрение в учебный процесс CAD/CAMInventorHSM для моделирования обработки на станках с ЧПУ**

Суриков С.Ю.

Научный руководитель – Калачёв О.Н.

ЯГТУ, г. Ярославль

Приложение InventorHSM обеспечивает CAD/CAM решение для пользователей AutodeskInventor. Оно даёт возможность проектировать фрезерную обработку на станках с ЧПУ. Четвертая и пятая оси позиционирования инструмента автоматически определяются из геометрии, выбранной для обработки, во время движения инструмента. В дополнение ко всем стандартным функциям, появилась возможность: менять ориентацию инструмента в различных плоскостях, выбирать и настраивать стратегии обработки пользователем, адаптивный клиринг позволяет значительно сократить время обработки, увеличить срок службы инструмента и продлить срок службы станка.

При работе с приложением Inventor HSM, мы создавали управляющую программу для обработки предварительно построенной 3D-модели. Для этого в открытой программе выбираем 3D-модель для обработки, нажимаем на вкладку *CAM*, и заходим в *Настройки*. В ней выбираем нужное нам расположение осей координат, так чтобы ось *z* совпадала с осью инструмента, а оси *x* и *y* были направлены вдоль заготовки. В следующей вкладке *Заготовка*, выбираем размеры заготовки, они должны быть больше деталей на несколько миллиметров.

Во вкладке *Постобработка* оставляем всё по умолчанию. Нажимаем *Ок*, и в контекстном меню отображается *Настройка1*. Далее произведём фрезерование заготовки. Для этого нажимаем на вкладку *Обточка*, и выбираем инструмент, в нашем случае это торцовая фреза. После этого во вкладке *Геометрия*, выбираем поверхность, которую будем обрабатывать. Во вкладке *Значения высоты*, оставим всё без изменений. А во вкладке *Проходы*, меняем направление прохода на 90 градусов, делаем его встречным, и меняем направление движение на противоположное. Вкладку *Связки* не трогаем, и нажимаем *Ок*. В контекстном меню появляется операция *Фрезерование1*. Чтобы посмотреть процесс

обработки, нажимаем один раз на *Фрезерование1*, и нажимаем на вкладку *Моделировать*.

Далее производим ещё две аналогичные операции, это обработка контура, и просверливание двух одинаковых отверстий.

Таким образом, в учебном процессе мы получаем приложение, в котором есть возможность моделировать управляющие программы для станков с числовым программным управлением, использовать 5-осевую контурную обработку, которая позволяет выполнять несколько проходов вдоль обрабатываемой стенки, и наглядно демонстрировать сам процесс обработки. Есть и другие программные системы, которые могут предоставить такой же спектр возможностей, но их необходимо приобретать. Заметим, что InventorHSMPro такая же недоступная студенту программа, а InventorHSMExpress – бесплатная версия, предназначенная специально для студентов, с целью изучения и ознакомления с решениями Autodesk.

### **Использование возможностей модуля COSMOSWorks для анализа конструкций в среде SolidWorks**

Талалаев П.А.

Научный руководитель – Маликов С.Б.

МАИ, г. Москва

На современном этапе развития инженерного образования происходит [1] расширение спектра применяемых в учебном процессе средств автоматизации инженерного труда с обучением выполнению цепочек автоматизированных конструкторских и технологических работ на основе 3D – моделей изделия, использованием информационного взаимодействия в условиях гетерогенной среды применяемых САПР, коллективной и параллельной работы с применением PLM решений, обоснования принимаемых технических решений с использованием систем инженерного анализа и методов индивидуальных [2] и групповых экспертных оценок [3].

В докладе на примере детали «Лабиринтное кольцо компрессора высокого давления» рассмотрены примеры рационального использования в учебном процессе модуля COSMOSWorks системы SolidWorks для прочностного и теплового анализа, в частности, при

- анализе зависимости перемещения материала при воздействии сил резания от жёсткости детали, изменяющейся при выполнении сверлильной операции при обработке группы отверстий,
- решении задачи снижения массы детали с повышением ее жесткости и сохранением коэффициента запаса прочности.

Модуль COSMOSWorks имеет доступ к «дереву построения» геометрической модели детали и сборочной единицы изделия, причем расчётная информация сохраняется непосредственно в электронной модели объекта анализа, что позволяет, используя возможности системы SolidWorks, оперативно поводить изменения технической документации.

Использование возможностей модуля COSMOSWorks в среде системы SolidWorks позволяет в сжатые сроки конструкторско-технологической подготовки производства осуществлять вариантное проектирование, а в учебном

процессе – получать навыки рационального использования современных инструментов инженеров.

Литература

1. Юрин В.Н., Злыгарев В.А., Стрелец Д.Ю. Этапы развития инженерного образования на основе компьютерного инжиниринга. / Международная энциклопедия CALS-технологий. Авиационно-космическое машиностроение. / Гл. редактор А.Г. Братухин. – М. НИЦ АСК, 2015. – С. 557-560.

2. Альбом технологической оснастки для станков с ЧПУ в авиадвигателестроении./В.Ф. Безъязычный, В.Д. Корнеев, В.Н. Ливанов, Т.Д. Кожина и др. Под общ. ред. В.Ф. Безъязычного. Ч. 1. Станочные приспособления для станков с ЧПУ в авиадвигателестроении. – М.: Машиностроение, 2000. – 147 с.

3. Курицына В.В., Косов Д.Е., Курицын Д.Н. Автоматизация задач экспертного оценивания в процедурах технологического менеджмента авиационного производства. //Научные труды (Вестник МАТИ), 2012. Вып. 19 (91). – С. 162-173.

### **Реализация концепции современного образовательного учреждения в компьютерных технологиях на примере проекта школы на 22 класса**

Фарафонова Ю.С., Хорохордина Ю.А.  
Научный руководитель – Альшакова Е.Л.  
ЮЗГУ, г. Курск

Эскизный проект общеобразовательной школы на 22 класса выполнен в рамках курсовой работы по дисциплине «Виртуальное моделирование и компьютерная графика» в учебном процессе направления подготовки «Архитектура». Участок для размещения школы расположен в г. Курске, на пересечении улицы Бойцов 9-й дивизии и Суворовского переулка. Рассматриваются два варианта объемно-планировочного решения здания, отличающиеся архитектурным замыслом, реализацией его в проекте и используемыми программными средствами проектирования. Проекты выполнены с применением технологии информационного моделирования зданий BIM (BuildingInformationModeling).

В первом варианте концептуального решения в основу образа здания школы заложена идея умственного и творческого развития. Она прослеживается в закругленных элементах, которые возвышаются по спирали, стремясь к покорению высоких пространств. Проект соответствует требованиям архитектурного проектирования. Используются внутренние поверхности стен для размещения больших мультимедиа экранов, где может отображаться учебная, справочная, досуговая информация. Созданы помещения для занятий физкультурой и спортом, рекреации зального типа, музейная зона, бассейн, библиотека, помещения для творческих студий, мастерских, лингафонных кабинетов для изучения иностранных языков, выделена офисная зона для педагогов и администрации. Здание имеет привлекательный внешний вид, соотносенный с окружающим ландшафтом.

Для создания информационной модели выбрана программа проектирования зданий Autodesk Revit. Программа Revit позволяет по 3D модели автоматически формировать рабочую документацию проекта: этажные планы, фасады, разрезы, спецификации, общий вид здания. При построении модели здания, вместо структурных элементов (стен, навесных стен, перекрытий, крыш), созданы объемные формы и формообразующие элементы и использованы инструменты преобразования их в реальные элементы здания. Это позволило реализовать концепцию здания сложной формы. Визуализация общего вида, презентация проекта, в том числе запись видео с панорамами здания, выполнены в одной программе Revit, позволяющей создать незабываемое общее впечатление о строящемся объекте.

Отличительной чертой второго проекта можно считать наличие в школе планетария, обсерватории и музея космоса с выставочным залом. Проектируемое здание школы в плане по своей форме напоминает космический спутник, а композиционное решение фасадов перекликается с космической тематикой. В плане можно выделить несколько основных зон – начальная школа, средняя школа, актовый зал, помещения медицинского обслуживания, столовая с кухней, спортивный зал, библиотека, администрация школы, четвертый этаж полностью отведен под помещения для занятий астрономией.

Эскизный проект школы создан с помощью программы ArchiCAD, т.к. она проста и функциональна в использовании. В процессе проектирования, помимо стандартных конструкций (стен, перекрытий, навесных стен, колонн), использован инструмент, называемый морф. С помощью него созданы сложные формы отделки фасадов. Для визуализации модели использована программа Artlantis Studio, содержащая множество текстур и 3D моделей, необходимых для создания интерьеров и экстерьеров. В Artlantis Studio легко устанавливаются параметры изображения (яркость, контрастность, диффузное отражение) и время суток. Изображение обработано в программе Adobe Photoshop для получения более подходящего цветового решения. Видео презентация проектируемого здания с получением различных ракурсов (видео облет) выполнена в программе Lumion, позволяющей сократить время создания видео ролика.

### **Моделирование операции вытяжки детали типа «стакан» с целью разработки штамповой оснастки лабораторного гидравлического прессы**

Цветкова Е.В.

Научный руководитель – Румянцев В.В.

ЧГУ, г. Чебоксары

Одной из лабораторных установок кафедры ММО ЧГУ является гидравлический пресс с ручным приводом, развивающий усилие до 100 кН. До настоящего времени он позволял выполнять всего несколько операций в связи с отсутствием технологической оснастки, поэтому практически не использовался в учебном процессе. Целью данной работы является разработка оснастки лабораторного прессы, а именно штампа для выполнения вытяжки детали типа «стакан».

В качестве заготовки был выбран круг диаметром 80 мм, вырезанный из алюминиевого листа толщиной 2 мм. Для упрощения разработки и снижения себестоимости оснастки в качестве вытяжного пуансона использовали имеющуюся в комплекте пресса насадку на шток диаметром 53 мм. На основе этих исходных данных были рассчитаны технологические параметры вытяжки: диаметр готового изделия, коэффициент вытяжки, усилие и работа деформации. Проверено условие применения вытяжки без прижима. В ходе работы были рассмотрены и сопоставлены два варианта исполнения матрицы с целью выбора наилучшего. Это матрицы с закругленной рабочей кромкой и с конической рабочей частью. В результате проектировочных расчетов были получены их исполнительные размеры и созданы 3D-модели в САПР Autodesk Inventor.

Для визуализации процесса вытяжки, оценки правильности аналитических расчетов и выбора наилучшего варианта исполнения матрицы было проведено моделирование операции вытяжки в системе DEFORM-3D. Конечно-элементная модель представляла собой четверть заготовки, в качестве материала выбрали американский аналог алюминия А0. Была взята качественная сетка, состоящая из 84025 элементов с минимальным размером 0,34 мм. Скорость движения пуансона 2 мм/с была выбрана в результате экспериментальной оценки действия пресса. DEFORM-3D позволяет отследить процесс формоизменения изделия и оценить конечный результат: разрушения материала не наблюдается, а стакан получается равномерным по толщине. Были сопоставлены графики, показывающие изменение усилия, действующего на пуансон и матрицу на протяжении всего моделируемого процесса. При использовании матрицы с конической рабочей частью усилия меньше, чем при использовании матрицы с закругленной рабочей кромкой, поэтому в качестве рабочего инструмента был выбран первый вариант. В результате анализа распределения напряжений и деформаций в момент действия на инструмент максимальных усилий выяснили, что наибольшее напряжение наблюдается в месте перехода стенки в дно стакана. Это наиболее опасное сечение с точки зрения отрыва дна, однако в нашем случае напряжения не превышали предел прочности материала заготовки. Проанализировав характер изменения толщины стенки стакана при вытяжке, пришли к выводу, что наибольшее утонение 11,5 % происходит в месте перехода стенки в дно, а по мере приближения к верхней кромке толщина стенки непрерывно увеличивается, достигая 9,5%. Эти данные соответствуют рекомендациям справочной литературы, что еще раз подтверждает адекватность модели.

Итак, в результате моделирования была выбрана матрица с конической рабочей частью, которая была дополнена кольцевым выступом на верхней плоскости матрицы для центрирования заготовки. Также был разработан способ крепления матрицы на прессе: матрица снабжается фланцем и крепится 6 болтами к специальной платформе, которая устанавливается на рабочую платформу пресса. Таким образом, данная платформа может быть легко установлена и использоваться для крепления сменных матриц, позволяющих получать изделия различных размеров и конфигураций.

## **Логическая схема программы для обработки статистических данных в сфере образования**

Чернышева С.А.

Научный руководитель – Лисов А.А.

МАИ, г. Москва

На сегодня существуют различные сайты и программы, которые показывают общую посещаемость и среднюю оценку учащихся. Проблемой является то, что в образовательных учреждениях не всегда имеются программные решения для получения информации о динамике успеваемости. Сейчас с появлением и совершенствованием новых современных технологий стало возможным решать такие задачи достаточно эффективно.

Для решения данной задачи автор разрабатывает программу "Учет", на основе имеющегося прототипа логической схемы. Это автоматизированная система управления для образовательных учреждений, которая предназначена для просмотра и обработки информации.

В разрабатываемом приложении используется клиент-серверная технология. Это позволяет установить её на множество компьютеров, которые объединены в локальную сеть и работают с единой базой данных. Предлагаемая программа будет включать в себя несколько вариантов проводимого анализа исходных данных, а соответственно будут представлено несколько форм отчетности:

- построение графика успеваемости каждого учащегося за выбранный период времени и сравнение его с предыдущими данными. Построение графика успеваемости всей группы.
- учет пропущенных тестов, контрольных и лабораторных работ по каждому учащемуся;
- вывод объективной оценки, характеризующей как уровень подготовки учащегося, так и уровень трудности заданий;
- вывод рекомендаций для учащегося, куратора и деканата.

Для реализации этого приложения использована технология ADO.NET. В программе используются объектно-ориентированный язык C#, позволяющий реализовать оконное приложение.

Таким образом, главными преимуществами предложенной программы являются: доступность, современные технологии. Особенностью является использование общепонятного пользовательского интерфейса.

Программа будет состоять из двух частей. Одна часть будет доступна только для преподавательского состава, а другая предназначена для информирования и самоконтроля учащихся.

Пользователь группы «Преподаватель» может использовать функции добавления, удаления и редактирования информации в базе данных. Он также может оставлять комментарии по каждому учащемуся, направленные на информирование самого учащегося и куратора группы.

Пользователь с правами «Учащийся» может только просматривать информацию об успеваемости, занесённую в базу данных, причём доступна информация только о нём самом.

Таким образом, разработка предложенного приложения на основе уже существующей схемы позволяет оценивать не только статистику, но

ритмичность и динамику образовательного процесса и проводить регулярный контроль успеваемости.

## **Внедрение в учебный процесс кафедры КИ ТМС ЯГТУ модуля MoldDesignCimatronE**

Четверикова А.В.

Научный руководитель – Калачев О.Н.  
ЯГТУ, г. Ярославль

Cimatron нацелен не только на создание 3D-моделей и управляющих программ для станков с ЧПУ, но и на создание литейной оснастки. Модуль MoldDesign позволяет создать литейные формы для получения металлических и пластмассовых деталей. Данный модуль дает возможность производителям литниковых форм поддерживать высокие стандарты качества и в то же время сократить сроки изготовления и снизить затраты.

В ходе работы необходимо в программе CimatronE создать 3D-модель требуемой детали. Получившуюся модель делим на плоскости разреза, их может быть несколько. Зайдя в меню «Поверхности», выбираем команду «Разделить» и выделяем поверхности, при этом модель окрасится в зеленый цвет, если она готова к делению. Далее выбираем делящую плоскость. Теперь получившиеся поверхности нужно разъединить, для чего на палитре выбираем команду «Разъем поверхностей», указывая в параметрах, в каких направлениях проходит разъединение. Так же укажем линию разреза.

Приступим к построению плоскости разреза. Для начала построим "главную" плоскость разреза. Воспользуемся командой «Линия разреза» – «Составная кривая». Составная кривая должна быть замкнута. Теперь с помощью команды «Поверхность разреза» – «Внешняя» указываем созданную ранее составную кривую. Нам нужно объединить все созданные плоскости разреза в одну, чтобы при создании активных частей оснастки: матрицы и пуансона, усекали заготовку одной плоскостью и не было конфликтов создания, с помощью команды «Соединить». Теперь создадим эскиз в центральной плоскости и построим в нем прямоугольник. Затем на палитре выбираем «Инструмент» – «Новая заготовка», далее указываем наш контур прямоугольника и выдавливаем его в обе стороны. Так как это пуансон, т.е. верхняя полуформа, нужно получить полость для будущей детали. Аналогичной последовательностью создаем матрицу.

После этого можно приступить к созданию литейной формы. С этой целью нажимаем на палитре «Создать новую ЛФ», открывается окно проектирования формопакета, в котором выбираем необходимый стандартный пакет. На основе стандартных компонентов автоматически проектируется формопакет. Следующим шагом в проектировании формопакета необходимо добавить систему выталкивания, с помощью команды «Проектирование выталкивания», где выбираем категорию «Ejection Devices», подкатеорию «Ejector Pins» и нужный элемент с необходимыми размерами, после чего толкатели обрезаем командой «Обрезка толкателей». Следующий этап – система охлаждения, выполнив команду «Проектирование охлаждения», на панели выберем команду «Объекты охлаждения», где выбираем диаметр трубок охлаждения и их

расположение. Конечным этапом проектирования формопакета является добавления системы впрыска с помощью команды «Устройства впрыска».

Таким образом, разработанная нами методика освоена на простых примерах и может быть изучена целым потоком студентов.

## **Разработка системы электронно-образовательных ресурсов**

Шульгин Д.А., Юрьев К.В.

Научный руководитель – Опадчий Ю.Ф.

МАИ, г. Москва

В настоящее время электронно-образовательные ресурсы (ЭОР) становятся неотъемлемой частью учебного процесса. Это, во-первых, объясняется требованиями последнего федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС), согласно которому внеаудиторная работа студента должна занимать примерно 70% от всего учебного времени, и, во-вторых, бурным развитием самих информационных технологий, дающих разработчикам ЭОР мощный инструмент для реализации конкретных приложений. Все это привело к появлению большого числа частных решений, используемых в конкретных курсах. Поэтому, важной задачей является систематизация существующих ЭОР в единый комплекс и актуализация его в соответствии с текущим развитием технологий для предоставления полных материалов по выбранной учебной дисциплине.

Разработанная система отвечает следующим требованиям:

- Защищенность данных
- Возможность работы, как с доступом, так и без доступа в интернет
- Кроссплатформенность
- Отсутствие дополнительного ПО

Разработка серверной части ведется на языке программирования Java с использованием фреймворка Spring и ORM Hibernate. Spring предоставляет возможность для гибкой разработки и добавления новых модулей в случае необходимости, а также разделение на логические компоненты в процессе разработки. Hibernate являет собой API для работы с базой данных, что дает защищенность данных и ускоряет время обработки запросов сервером приложений и базой данных.

В качестве сервера приложений был выбран Tomcat. Он поддерживает все существующие базы данных и упрощает развертку приложения на физическом сервере. Разделение компонентов на сервере позволяет поддерживать актуальные версии выбранных инструментов для разработки.

Для данной системы наиболее всего подходит база данных PostgreSQL. Проведя сравнительный анализ с другой популярной базой данных MySQL, можно сказать, что PostgreSQL:

- Лучше документирован; документация по MySQL формально есть, но смысл отдельных опций понять бывает тяжело.
- Соответствует стандартам SQL-92, SQL-98, SQL-2003 (реализованы все его разумные части) и уже работает над SQL-2011 (для сравнения, MySQL не поддерживает даже SQL-92).

- Осуществляет максимально быстрое удаление и добавление колонок в таблицах любого размера.
- Точнее соответствует стандарту ANSI и гораздо строже относится к входным данным.
- Использует транзакционный DDL.
- Возможно писать процедуры практически на любом языке, мощный внутренний язык PL/pgSQL
- Пользовательский интерфейс максимально прост и понятен; с помощью JSP разметки можно создать виджет любой сложности и функциональности (текст, таблицы, графики и др.).

Подведя итог, можно сказать, что данное ПО является универсальным имеет высокую производительность и может использоваться для различных учебных дисциплин и направлений.

## **Разработка электронно-образовательного ресурса по электронике**

Шульгин Д.А., Юрьев К.В.

Научный руководитель – Опадчий Ю.Ф.

МАИ, г. Москва

Требования нового федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС) высшего образования увеличения роли внеаудиторной самостоятельной работы студентов не могут быть реализованы без использования современных информационных технологий и телекоммуникаций, В связи с этим разработка нового многофункционального электронно-образовательные ресурсы (ЭОР) по электронике и электротехнике является весьма актуальной задачей.

Разработка указанного ЭОР ведется на языке C++ с использованием библиотеки Qt. Применение технологии Qt существенно облегчает разработку данного проекта: Qt является полностью объектно-ориентированным, легко расширяемым и поддерживающим технику компонентного программирования, а так же решает проблему кроссплатформенности так как Qt позволяет запускать написанное с его помощью ПО в большинстве современных операционных систем путём простой компиляции программы для каждой ОС без изменения исходного кода.

Для хранения информации на локальном диске используется компактная встраиваемая реляционная база данных SQLite. SQLite не использует парадигму клиент-сервер, то есть движок SQLite не является отдельно работающим процессом, с которым взаимодействует программа, а предоставляет библиотеку, с которой программа компонуется и движок становится составной частью программы. Таким образом, в качестве протокола обмена используются вызовы функций (API) библиотеки SQLite. Такой подход уменьшает накладные расходы, время отклика и упрощает программу. SQLite хранит всю базу данных (включая определения, таблицы, индексы и данные) в единственном стандартном файле на том компьютере, на котором исполняется программа. Сочетание использования фреймворка Qt и базы данных SQLite позволяет добиться высокой скорости и относительной легкости разработки ПО,

требуемой производительности, кроссплатформенности и защищенности данных.

Пользовательский интерфейс разрабатываемого приложения визуально очень похож на стандартный веб интерфейс, что является большим преимуществом, так как он интуитивно понятен и прост в освоении. Большую часть интерфейса занимает виджет, выводящий учебную информацию, слева от виджета с информацией находится меню текущего образовательного курса в виде иерархического дерева, сверху находится меню управления, а снизу панель навигации. Интерфейс генерируется в автоматическом режиме после инициализации и чтения базы данных. В связи с этим данное ПО является многофункциональным и может быть использовано для разработок ЭОР по другим предметам.

## **СЕКЦИЯ № 16. Конструкция и расчёт энергетических силовых установок летательных аппаратов**

Руководитель секции: к.т.н., доцент Ярославцев Н.Л.

---

### **Анализ работоспособности противообледенительной системы двигателя**

Адеев А.Х.

Научный руководитель – Ярославцев Н.Л.

МАИ, г. Москва

Мировая статистика показывает, что число летных происшествий, возникающих из-за опасных воздействий внешней среды, в общем балансе аварийности в авиации весьма значительно. Доля этих происшествий может иногда достигать 25-30% от общего количества летных происшествий. Среди различных погодных воздействий на самолет наибольшую опасность представляет обледенение. Во всем мире только в авиации общего назначения ежегодно происходят десятки тяжелых летных происшествий из-за обледенения.

На обледенение силовых установок оказывает влияние ряд факторов, основными из которых являются температура и относительная влажность воздуха, водность облаков, средний диаметр капель, скорость и высота полета летательного аппарата. Метеорологические условия, способствующие обледенению, характеризуются наличием переохлажденных капель воды или кристаллов льда, взвешенных в воздухе в виде облаков, тумана, дождя, мокрого снега и т. п. В процессе соударения поверхности летательного аппарата с переохлажденными каплями воды в набегающем потоке воздуха последние переходят из состояния неустойчивой системы «жидкость-лед» и замерзают на поверхности.

При обледенении ГТД лед образуется на неподвижных поверхностях входного канала воздухозаборника, лопатках направляющего аппарата, обтекательной передней части двигателя, лопатках первой ступени компрессора, а также на носке входного диффузора (переднего капота), на входных патрубках продува генераторов и на других воздухозаборниках, расположенных на капоте двигателя.

В отличие от летательных аппаратов, обледенение которых наступает при отрицательных температурах, ГТД могут подвергаться обледенению при температуре окружающей среды до 5–10°C. При работе двигателя на земле или малых скоростях полета во входном канале происходит засасывание воздуха и расширение его, в результате чего температура воздуха понижается и может достигнуть значений, при которых наступает обледенение.

Образование льда на поверхности входного канала и непосредственно на входе в компрессор уменьшает расход воздуха и понижает тягу двигателя. В результате увеличивается удельный расход топлива, что приводит к неустойчивой работе компрессора и вибрациям двигателя, а также перегреву лопаток соплового аппарата и турбины. В ГТД с осевым компрессором интенсивное льдообразование происходит во входном направляющем аппарате,

а также на лопатках первого ряда ротора и статора компрессора. Оторвавшиеся от поверхности корпуса входного устройства кусочки льда могут вызвать повреждение компрессора.

Для обеспечения нормальной работы двигателя в условиях обледенения необходимо создание специальных средств защиты, т.е. создание противообледенительных систем. Принцип действия большинства этих систем основан на том, что при включении их в работу температура защищаемых поверхностей поднимается до положительной и образование льда на них становится невозможным.

### **Отработка конструкции форсажной камеры и её дефектация в процессе эксплуатации**

Алендарь А.Д., Иванова Т.С.

Научный руководитель – Викулин А.В.

МАИ, г. Москва

При создании газотурбинных двигателей значительное внимание уделяется разработке и доводке выходных устройств, а в двигателях для скоростных самолетов – и форсажных камер. Применение форсажной камеры является наиболее выгодным способом форсирования тяги двигателя: при умеренном увеличении массы и габаритных размеров резко увеличивается удельная тяга. При проектировании и расчете форсажной камеры невозможно учесть все особенности ее работы в составе конкретного двигателя. Поэтому при доводке ее на стендовых испытаниях и в эксплуатации встречаются различные дефекты. Что определяет актуальность данной работы.

Самым опасным дефектом форсажной камеры является возникновение вибрационного горения. Этот дефект может возникать на различных режимах работы двигателя: на полном или частичном форсаже, в стендовых условиях или в условиях полета. Для устранения этого дефекта необходимо, прежде всего, с помощью осциллографирования пульсации давления в нескольких точках форсажной камеры определить частоту и форму колебаний. Только после этого можно наметить пути устранения этого дефекта: при помощи настройки антивибрационного экрана или другим способом.

Очень часто встречаются прогары и обгорания кромок различных элементов конструкции: экранов, стабилизаторов. Повышение уровня температуры газа в форсажной камере приводит к ухудшению охлаждения стабилизаторов пламени набегающим на них потоком. Кроме того, с увеличением давления в камере возрастает температура стабилизационного горения из-за увеличения температуры в ядре потока горения. Оба эти фактора приводят к существенному росту температуры стабилизаторов пламени.

Одновременно с этим повышение давления и температуры газа способствует появлению очагов горения даже за небольшими по размерам плохообтекаемыми элементами конструкции фронтального устройства форсажной камеры, расположенными перед стабилизаторами пламени за топливными форсунками. Поэтому при доводке форсажных камер двигателей, для которых характерны высокие значения температуры и давления газа на входе в камеру, очень остро

стоит проблема устранения возможности прогара стабилизаторов пламени или обгорания на кромках.

Температура деталей форсажной камеры в процессе эксплуатации двигателя изменяется в широком диапазоне, при этом возникают существенные внутренние термические напряжения, что приводит к разрушению этих деталей в результате малоциклового усталости. В этом случае большую роль играет эффект концентрации напряжений в уголках с малыми радиусами перехода и рисками от недостаточной чистоты обработки.

Для устранения указанных дефектов необходимо разработать технологию соединения деталей методом сварки, т.е. проанализировать возможность использования сварного соединения (плавления) деталей встык вместо используемого соединения внахлест или контактной сварки.

### **Квазиодномерная модель камеры сгорания высокоскоростного летательного аппарата**

Аракелян А.Д., Токталиев П.Д.

Научный руководитель – Волохов В.М.

МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Высокоскоростной летательный аппарат (ВЛА) является сложной технической системой, состоящей из множества узлов. Подробное описание характеристик ЛА может включать сотни параметров, каждый из которых влияет на результирующую эффективность работы ВЛА. Рассмотрение даже одного из узлов ВЛА - камеры сгорания (КС) - представляет собой комплексную междисциплинарную задачу, затрагивающую такие области знания, как газодинамика, термодинамика, физическая химия. Таким образом, рассмотрение протекающих в КС процессов с учетом их разнообразия и многомасштабности возможно только с использованием упрощающих предположений. Традиционно одним из таких упрощающих предположений является редуцирование размерности задачи. Рассмотрение КС ВЛА в одно- и двумерной постановке по пространству позволяет выявить качественные и, в какой-то мере, количественные характеристики процессов, протекающих в системе КС. Более того, редуцирование размерности позволяет рассмотреть и проанализировать оптимизационные задачи, возникающие при проектировании ВЛА, недоступные в связи с потребными ресурсами для задачи с большей размерностью.

В работе на основе интегральных уравнения сохранений массы, импульса и энергии построена одномерная модель камеры сгорания (КС) ВЛА с учетом протекающих в ней химических превращений. Для описания кинетических процессов использованы детальные и редуцированные кинетики с учетом ряда дополнительных предположений относительно впрыска и смешения топлива. Для описания трения и теплообмена на стенках в проточном тракте использованы эмпирические соотношения, являющиеся обобщением ряда известных данных, таких как формула Петухова-Кириллова [1]. Результирующая система обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) в связи с используемой кинетикой может оказаться жесткой, что приводит к сложностям при ее интегрировании [2]. Для преодоления этих сложностей был проведен анализ характеристик жесткости результирующей системы ОДУ, а

также протестированы различные методы ее решения. На основе разработанной модели для характерных режимов работы КС ВЛА ( $M = 6, 8$ ) проведено численное моделирование процессов смешения и горения модельного углеводородного топлива в тракте КС. Проведено сравнение результатов расчетов по одномерной модели с имеющимися открытыми литературными данными [3].

Исследовательские работы проводятся при финансовой поддержке государства в лице РФ по соглашению №15-11-30012 от 08.07.2015 по теме: «Суперкомпьютерное моделирование физико-химических процессов в высокоскоростном прямоточном воздушно-реактивном двигателе гиперзвукового летательного аппарата на твердых топливах».

Список литературы:

1. Б.С. Петухов, А.Ф. Поляков. Теплообмен при смешанной турбулентной конвекции. М.: Наука, 1986.

2. Э. Хайрер, Г. Ваннер. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Жесткие и дифф.-алгебраические задачи. Пер с англ под ред Филиппова С.С. М: Мир, 1997, 686 с.

3. С.Р. Goyne, J.C. McDaniel, T.C. Quagliaroli, R.H. Krauss, S.W. Day. Dual-Mode Combustion of Hydrogen in a Mach 5, Continuous-Flow Facility // Journal of Propulsion and Power, Vol.17, No. 6, 2001, pp. 1313-1318.

### **Оценка теплозащитных свойств покрытий из различных материалов для теплонапряженных деталей газотурбинных двигателей**

Баженова А.В.

Научный руководитель – Ильинская О.И.

МАИ, г. Москва

На сегодняшний день при создании авиационного двигателя нового поколения определяющим фактором является увеличение температуры газа перед турбиной до 2000 К, что обусловлено необходимостью повышения эффективности и экономичности двигателя. Обеспечение работоспособности деталей в условиях высоких температур является актуальным.

Детали «горячего» тракта газотурбинного двигателя (ГТД) подвержены процессу коррозионного разрушения в газовых потоках при высоких температурах (газовой коррозии). Основными компонентами газового потока являются оксиды азота и углерода, водяной пар, несгоревшие фракции углеводородного топлива. Избыточная подача воздуха создает окислительную среду продуктов сгорания. Совместное действие высокотемпературного окисления, процесса диффузии и механических нагрузок ведет к образованию в поверхностном слое микротрещин, пор, зон с различной твердостью и прочностью.

Нанесение многослойных теплозащитных покрытий (ТЗП) является одним из методов защиты от газовой коррозии никелевых сплавов, применяемых для деталей «горячего» тракта ГТД. ТЗП позволяют снизить температуру основного материала на 60...120°C, что способствует увеличению термоциклической долговечности деталей за счет снижения их теплонапряженности.

Анализ результатов отечественных и зарубежных исследований свойств ТЗП показывает, что в настоящее время широко используются многослойные жаростойкие покрытия, в которых базовыми элементами являются Al, Cr, Si, обладающие наибольшими защитными свойствами. Для предотвращения рассасывания жаростойких компонентов покрытия в подложку используют слои из тугоплавких металлов W, Ta, выполняющих роль диффузионных барьеров из-за малой подвижности атомов.

Одним из критериев выбора состава слоев покрытия и содержания элементов является способ нанесения покрытия и возможности его дальнейшей обработки для повышения прочности сцепления, плотности, шероховатости и др.

На жаропрочный никелевый сплав были нанесены три вида многослойных покрытий (I-NiCrAlY; II-W – Cr – Ni – Al; III-W – Cr – Co – Al) методом электроискрового легирования на установке ЕЛФА-731. Формирование слоя покрытия достигалось в результате переноса материала легирующего электрода (анод) на изделие (катод) при импульсных электрических разрядах.

Для упрочнения покрытия на нескольких образцах было проведено алмазное выглаживание на установке МАНОМН500W. Каждое покрытие подверглось термоциклированию (N = 6 циклов, T = 900°C). Время каждого цикла 47 минут. После термоциклирования проводились визуальная оценка состояния покрытий, замеры шероховатости и микротвердости. Теплозащитное покрытие практически не подверглось изменениям, в то время как чистый образец окислился уже после первого цикла термоциклирования.

### **Конструктивное совершенствование критичных узлов и деталей современных и перспективных авиационных двигателей летательных аппаратов**

Богданович В.И., Ле Тиен Зьонг, Ревант Редди Аббаварам

Научный руководитель – Нестеренко В.Г.

МАИ, г. Москва

В процессе создания АД VI поколения и выполнения НИЭР и ОКР, выявилось, что стоимость их разработки, по отношению к стоимости создания АД V поколения, существенно возросла, примерно на 75...80%, и, как показывают ориентировочные оценки, она может составлять 60...65% от общей СЖЦ двигателей. Такие расходы будут вполне оправданы, если величина СЖЦ будет снижена в 1,4...1,5 раза. Эта задача требует, чтобы перспективные двигатели самолетов гражданской авиации имели примерно на 25% сниженную величину удельного расхода топлива, повышенную надежность и ресурс, значительно сокращенные затраты на техническое обслуживание в процессе их эксплуатации и ремонта. Очевидно, что необходимы радикальные изменения конструкции и облика всех основных узлов АД, разработка новых методов расчетов и проектирования, создание и использование принципиально новых материалов и технологий. Представлены результаты исследований и ряд новых конструктивных решений наиболее значимых элементов камер сгорания и турбин газогенераторов современных и перспективных АД, в частности, профильной части сопловых и рабочих лопаток высокотемпературных турбин ВД, пучков трубчатых воздухо-воздушных теплообменников системы

охлаждения ТВД, способствующих улучшению показателя качества его проектирования, СЖЦ АД в целом.

Так, например, существенное повышение уровней максимальной степени сжатия в компрессоре перспективных ТРДД и его степени двухконтурности требует проектирования малоразмерного газогенератора, у которого лопатки ТВД имеют уменьшенную высоту. Это приводит к снижению их КПД вследствие влияния вторичных потерь энергии газа. Применение бандажной полки в таких лопатках в высокотемпературных турбинах ограничивается по прочностным соображениям: перо лопатки должно нести дополнительную центробежную нагрузку, и сама полка в месте ее крепления к лопатке рабочего колеса турбины должна иметь допустимый уровень изгибных напряжений. С этой целью разработана новая конструкция бандажной полки, имеющей конвективно-пленочное охлаждение, выполнены газодинамические и прочностные расчеты такой лопатки в системе ANSYS CFX, которые подтвердили ее работоспособность. Само перо лопатки также должно иметь повышенную эффективность охлаждения, для чего рассмотрены конструктивные возможности дополнительного снижения температуры охлаждающего воздуха в трубчатом теплообменнике. Выявлено, что варианты более эффективного трубчатого теплообменника могут быть разработаны при уменьшении диаметрального размера трубок аналога, применения овалов различного размера, переходящих при повороте внутреннего потока на  $180^\circ$  в пучке в цилиндр. Эффективность новых конструктивных решений также оценивалась по результатам их газодинамических, тепловых и прочностных расчетов с использованием ANSYS CFX.

Не менее важной проблемой является исследование возможностей конструктивного совершенствования узлов горячей части перспективных АД нового поколения, обеспечения модульности и ремонтпригодности этих конструкций. Это рассмотрено на примере возможной модернизации узлов камеры сгорания и ТВД ТРДДф РД-33МК. Эти узлы имеют вдвое меньший ресурс, чем узлы холодной части этого двигателя, как и большинство других АД. В конструкцию жаровой трубы кольцевой камеры сгорания введен горизонтальный разъем, коллектор выполнен выносным, он установлен в наружном контуре ТРДДф с возможностью разбора форсунок на двигателе, жаровая труба выполнена с передним поясом крепления, а секторы соплового аппарата ТВД - съемными.

## **Перспективы создания твердотопливных двигательных установок систем аварийного спасения**

Бойцова Д.А.

Научный руководитель – Викулин А.В.

МАИ, г. Москва

На сегодняшний день надежность средств, при помощи которых человек способен достичь космоса, далека от идеальной. Основой обеспечения безопасности экипажа и самого корабля на участке выведения ракеты-носителя (РН) являются высокая надежность функционирования бортовых и наземных систем, создание достаточного уровня резервирования и полнота

экспериментальной отработки РН. Однако, как показывает анализ статистических данных летной эксплуатации ракетно-космических комплексов, на современном технологическом уровне не удается полностью исключить ситуации, в которых ракета-носитель частично либо полностью теряет работоспособность. Разработка и создание способов и средств аварийного спасения экипажа и корабля на участке выведения остается одной из актуальных задач при осуществлении пилотируемых полетов.

Система аварийного спасения (САС) – бортовая система для спасения экипажа космического корабля в случае возникновения аварийной ситуации на ракетеносителе. При штатном полете САС отделяется от РН после достижения безопасной высоты.

В настоящее время для российской ракеты-носителя тяжелого класса семейства «Ангара» ведется разработка ракетного блока аварийного спасения (РБАС). Разрабатываемый ракетный блок аварийного спасения предназначен для решения следующих задач:

- отделение возвращаемого аппарата (ВА), входящего в состав пилотируемого транспортного корабля (ПТК), от аварийной РН при авариях ракетно-космического комплекса на старте и в процессе полета РН на участке выведения;
- увод ВА на безопасное расстояние от аварийной РН;
- создание в процессе аварийного увода заданных параметров движения ВА;
- обеспечение приведения возвращаемого аппарата в выбранный район посадки;
- обеспечение увода пилотируемого транспортного корабля от аварийной РН с целью последующего использования двигательной установки ПТК для доведения его на орбитальную траекторию или нерасчетную орбиту, либо для обеспечения приведения ВА в заданный район;
- отделение и увод от РН элементов РБАС при штатном полете.

Твердотопливная двигательная установка РБАС включает в себя пять двигателей:

- основной ракетный двигатель, предназначенный для отделения и увода ОГБ на безопасное расстояние от аварийного носителя, а так же для увода ОГБ на высоту, необходимую для работы комплекса средств посадки ВА;
- управляющий ракетный двигатель (УРД), предназначенный для создания управляющих моментов;
- ракетный двигатель разделения (РДР), предназначенный для отделения и увода твердотопливной двигательной установки РБАС;
- ракетный двигатель экстренного отделения (РДЭО), предназначенный для отделения и увода ВА (или ПТК) на безопасное расстояние от аварийного носителя;
- ракетный двигатель увода (РДУ), предназначенный для отделения и увода блока экстренного отделения в процессе штатного полета РН.

Учитывая весь опыт создания нашей страны систем аварийного спасения таких РН как «Союз» и «Восток», разработка ракетного блока аварийного спасения для ракет-носителей тяжелого класса представляется возможным.

## Перспективные двигатели космических аппаратов

Великанова В.Ю., Губарев Н.И.

Научный руководитель – Качалова И.В.

МАИ, г. Москва

Современные программы освоения космоса требуют разработки все более совершенных ракетных двигателей. В настоящее время, совершенствование ракетных двигателей, является необходимым условием для выполнения будущих пилотируемых миссий, доставки необходимых грузов на околоземную орбиту, а также к другим планетам в разумные сроки.

В данной работе рассмотрены российские ракетные двигатели (РД) и их аналоги из США. Проведен сравнительный анализ основных используемых и разрабатываемых в настоящее время РД по эффективности, себестоимости производства, влиянию на окружающую среду.

Эффективность ракетного двигателя определяется величиной удельного импульса.

При прогнозировании себестоимости производства исходят из приближенного расчета собственных затрат и затрат на покупные комплектующие двигателя.

При оценке влияния на окружающую среду рассматривается токсичность компонентов топлива и продуктов их сгорания.

Проведенный анализ показал, что на данный момент самыми эффективными двигателями являются плазменные и ионные ракетные двигатели (ИД). Их удельный импульс превышает удельный импульс жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) и ракетных двигателей твердого топлива (РДТТ) на ~ (538÷1752) %. Однако по себестоимости производства самыми доступными остаются РДТТ и ЖРД благодаря доступности топливных компонентов и отработанности производства. Анализ показал, что наибольшее негативное влияние на окружающую среду оказывают ядерные ракетные двигатели (ЯРД), что препятствует их использованию, несмотря на высокую эффективность. Вместе с тем, очевидно, что дальнейшее развитие космонавтики не сможет обойтись без применения схем с ЯРД, так как химические ракетные двигатели уже достигли практического предела своей эффективности и их потенциал развития весьма ограничен, а для создания скоростного, долговременно работающего и экономически оправданного межпланетного транспорта химические двигатели по ряду причин непригодны.

В ходе МАКС–2013 кооперация отечественных фирм из структур Роскосмоса и Росатома представила обновленный макет транспортно-энергетического модуля (ТЭМ) с космической ядерной энергодвигательной установкой (ЯЭДУ) мегаваттного класса.

В предложенной схеме ядерный реактор вырабатывает электроэнергию, которая расходуется на работу ЭРД. Новый проект предполагает использование ионных электрореактивных двигателей, в которых реактивная тяга создается за счет ускоренного электрическим полем потока ионов. Масса и габариты базовых элементов ЯЭДУ должны обеспечивать их размещение в космических головных частях, существующих и перспективных российских РН «Протон» и «Ангара». Одним из достоинств проекта являются практически важные эксплуатационные

характеристики – высокий ресурс (10 лет эксплуатации), значительный межремонтный интервал и продолжительное время работы на одном включении.

Разработка и внедрение ЯЭДУ станет новым витком в отечественном ракетостроении и позволит создать качественно новую технику высокой энерговооруженности для изучения и освоения дальнего космоса.

## **Влияние настроек CFD-модели на расчётные характеристики четырёхступенчатой турбины**

Волков А.А., Радин Д.В.

Научный руководитель – Попов Г.М.

СГАУ им. акад. С.П. Королёва, г. Самара

Цель представленной работы – определить влияние настроек CFD-модели на расчетные характеристики турбины и верифицировать эти настройки. В качестве объекта исследования была выбрана экспериментальная четырехступенчатая турбина с выходным направляющим аппаратом, разработанная NASA. Для данной турбины были известны геометрические данные, а также результаты экспериментальных исследований.

Для определения влияния отдельных настроек CFD-модели на результаты расчета характеристик турбины было создано несколько семейств численных моделей. В каждом из них численные модели имели один переменный параметр:

- количество элементов в окружном сечении межлопаточного канала;
- максимальное значение соотношения сторон и коэффициента расширения элементов;
- значение размера элемента, ближайшего к стенке;
- модель турбулентности.

Расчетные сетки создавались в программном комплексе NUMECAAutoGrid5. Подготовка численной модели производилась в программном комплексе NUMECAFineTurbo. В качестве рабочего тела использовалась модель идеального газа, с газовой постоянной  $R=287,9$  Дж/(кг\*К) и показателем адиабаты  $k=1,3949$ . В качестве граничных условий при расчете использовались полное давление и полная температура на входе и статическое давление на выходе, значения которых соответствовали аналогичным параметрам при проведении эксперимента. В качестве базовой модели турбулентности (то есть на которой производились расчеты всех сеточных моделей) была выбрана однопараметрическая модель турбулентности Spalart-Allmaras, т.к. она является самой экономной с точки зрения вычислительных ресурсов. Также производились расчеты на моделях турбулентности  $k-\epsilon$  (LowReYang-Shih), SST,  $k-\omega$ .

В результате исследования для всех вариантов расчетных моделей были получены основные характеристики: зависимости эквивалентного расхода, КПД, а также угла выхода потока от степени понижения давления в турбине. Далее путем сопоставления полученных характеристик с экспериментальными была проведена верификация расчетных моделей, из которой можно сделать следующие выводы:

- все расчетные модели позволяют отслеживать тенденции изменения основных параметров турбины, т.е. полученные в результате расчета характеристики качественно повторяют экспериментальные. Из этого следует, что грубые сетки также могут быть использованы для оптимизационных расчетов;

- увеличение количества элементов в окружном сечении межлопаточного канала свыше 15500 элементов на венце, снижение максимального значения коэффициента расширения элементов ниже 1,4, а также снижение максимального значения соотношения сторон элементов ниже 2000 не приводят к значительному изменению результатов, но увеличивают расчетное время и поэтому являются нецелесообразными;

- увеличение размера ближайшего к стенке элемента, соответствующего  $y^+=1$ , до значения, соответствующего  $y^+=5$  приводит к смещению расчетной характеристики КПД турбины вниз;

- модель турбулентности  $k-\omega$  позволила получить наименьшую погрешность по сравнению с экспериментальными данными.

Выявленные закономерности позволяют создавать требуемые расчетные модели турбины в соответствии с типом решаемой задачи.

## **Методика газодинамического расчёта охлаждаемых турбин газотурбинных двигателей**

Добровольский И.С.

Научный руководитель – Белова С.Е.

РГАТУ им. П.А. Соловьёва, г. Рыбинск

В настоящее время система охлаждения является неотъемлемой частью конструкции любой современной турбины. Непрерывное совершенствование и усложнение технологий охлаждения является обязательным условием реализации конкурентоспособной конструкции турбины - конструкции, в которой при увеличении температуры перед турбиной расход воздуха на охлаждение не перекрывает выигрыш в удельных параметрах двигателя, а ресурс деталей турбины соответствует требованиям заказчиков. Сокращение сроков проектирования деталей при весомом повышении их качества обеспечивает быстрый выход на рынок с новой продукцией и получение высокой отдачи от вложенных инвестиций.

Максимальная температура газа за камерой сгорания современных ГТД достигает отметки 1700-1850К, при этом допустимая температура лопаточных сплавов ниже рабочих температур газа перед каждым венцом на 200-500 К. Наиболее популярный способ охлаждения элементов проточной части двигателя – выдув охлаждающего воздуха на поверхностях деталей. Такой способ имеет достаточно высокую степень эффективности, однако создает множество проблем при проекторочных расчетах. Так, например, неправильно выбранный угол выдува может снизить КПД охлаждаемой турбины на 1-2%.

В процессе проектирования возникает необходимость проверки множества вариантов как геометрии самих лопаток и проточной части, так и мест расположения отверстий для подачи охлаждающего воздуха. В таком случае,

существует потребность в сокращении времени затрачиваемого на газодинамические расчеты без потери их качества.

Газодинамический расчет с применением CFD (Computational Fluid Dynamics) - технологий можно разделить на несколько этапов:

- Построение расчетной геометрии
- Создание сеточной модели
- Подготовка расчета
- Газодинамический расчет
- Обработка полученных результатов

Вычисления рекомендуется проводить в стационарной постановке, с решением уравнений Навье-Стокса и с использованием моделей турбулентности Spalart-Allmaras или SST.

Применение программных комплексов (ПК), специально предназначенных для расчетов турбомашин, позволяет сократить в несколько раз время, затрачиваемое на этапы 2, 3 и 4. Специальные сеткопостроители помогают за считанные минуты создавать качественные расчетные сетки с учетом особенностей течения рабочего тела внутри проточной части. Время газодинамического расчета уменьшается в среднем с 4 часов до 30 минут, при этом значение отклонения от эксперимента по основным параметрам не изменяется.

Предложенная методика позволяет получить высокие результаты газодинамических расчетов и существенно снизить временные затраты на этап проектирования современных ГТД, а значит и уменьшить себестоимость готового изделия.

## **Анализ факторов, влияющих на выходные параметры и качество функционирования топливной аппаратуры газотурбинного двигателя**

Другашова Е.В.

Научный руководитель – Викулин А.В.

МАИ, г. Москва

В настоящее время для авиационного двигателестроения особую актуальность приобретают задачи, решение которых позволяет повысить эффективность использования газотурбинных двигателей. Надежность и ресурс современных газотурбинных двигателей во многом определяются безотказностью в эксплуатации топливной аппаратуры, включающей в себя сложный комплекс агрегатов. Регулировка при ремонте и эксплуатации должна базироваться на достоверной информации о доминирующих факторах, влияющих на выходные параметры и работоспособность агрегатов, так как в противном случае нельзя добиться оптимального технического решения отладки выходных параметров, удовлетворяющих техническим условиям.

Анализ материалов литературных источников показал, что существенное влияние на выходные параметры и работоспособность топливной аппаратуры в целом оказывает качество ремонта деталей и сборки. Выходные параметры зависят от внутренних (конструктивно-технологических) и внешних факторов. К первым следует отнести:

- геометрические размеры деталей и их место в сборочной цепи;
- зазоры между золотниковыми и плунжерными парами;
- характеристика механических, электромеханических и гидравлических элементов.

Геометрические размеры, а в частности предельные отклонения форм деталей и расположения, существенно влияют на увеличение сил трения в прецизионных парах топливной аппаратуры газотурбинных двигателей, что влечет за собой понижение чувствительности регуляторов к регулируемому параметру и повышает статическую ошибку системы регулирования. Кроме того, важную роль играют физико-химические свойства материалов, используемых в конструкциях топливной аппаратуры. Конструктивно-технологические факторы и их погрешности лимитируются конструкторской, технологической и ремонтной документацией.

К внешним факторам относятся:

- вибрация;
- температура;
- давление окружающей среды;
- стабильность работы гидросистемы питания;
- качество и чистота используемого топлива.

Прогнозирование технического состояния топливной аппаратуры является одним из важнейших факторов управления эффективностью, эксплуатационной надежностью и долговечностью двигателей. Основной задачей технического диагностирования на современном этапе развития двигателестроения является не только выявление неисправностей и предупреждение отказов, но и прогнозирование технического состояния топливной аппаратуры в целях максимально возможного использования ресурса ее элементов на основе анализа всех стадий жизненного цикла, включая этапы производства и ремонта. Все это позволяет повысить срок службы деталей и узлов топливной аппаратуры, снизить расходы на запасные части и ремонт.

### **Разработка методики проектирования турбин с предельными углами раскрытия проточной части и поворота потока в межлопаточном канале**

Живирихин М.Л.

Научный руководитель – Ремизов А.Е.

РГАТУ им. П.А. Соловьёва, г. Рыбинск

Как известно турбины низкого давления (ТНД) и силовые турбины (СТ) работают при более низких частотах вращения и температурах чем турбина компрессора (ТК), при этом степень понижения полного давления ( $\pi_T^*$ ) в них значительно выше чем на ТК. На протяжении последних десятилетий имеет место тенденция к постоянному росту степени двухконтурности двигателей, что приводит к еще большей нагруженности ТНД. В свою очередь потребитель мощности, будь то вентилятор в случае ТРДД или силовой агрегат наземной ГТУ, требует сравнительно низких частот вращения, которые приводят к недостатку окружной скорости и как следствие порождает рост газодинамической нагрузки на ступенях турбины.

Для оптимизации уровня нагрузки на лопаточные венцы повышают окружную скорость путем увеличения среднего диаметра проточной части ТНД. При выдерживании минимальной осевой протяженности переходного канала, данные мероприятия приводят к усложнению формы меридиональных обводов, так же наблюдается увеличение углов раскрытия (скоса) проточной части первых ступеней ТНД.

Углы скоса ( $\gamma$ ) наружного и внутреннего обводов проточной части турбины определяются величиной дополнительных аэродинамических потерь ( $\xi$ ), которые могут возникнуть при этом. Согласно исследованным зависимостям  $\xi=f(\gamma)$  [1, с.83-85] и [2, с.60-62] допустимый угол раскрытия составляет  $\gamma \leq 20^\circ$ . При превышении этого значения наблюдается резкая интенсификация вторичных течений, возможны отрывы от периферийной стенки канала.

Стоит отметить, что вышеупомянутые зависимости были получены для лопаточных венцов простой формы (длинные прямые лопатки и прямолинейные обводы газового тракта). Более детальное двух- и трехмерное проектирование проточной части переходного канала и первых ступеней ТНД [4] позволяет достичь больших углов раскрытия  $\gamma \approx 27^\circ$  [3, с.454].

За последние десятилетия в открытой печати не появились данные по исследованию проблем согласования геометрии переходных каналов и первых ступеней ТНД. Поэтому была поставлена задача – разработать обобщающие зависимости геометрических характеристик для высоконагруженных турбин с учетом современных наработок в турбостроении, а именно для:

- решеток с криволинейными обводами проточной части;
- лопаток с изогнутостью в окружном и осевом направлениях;
- турбин с диагональной проточной частью.

Список литературы:

1. Основы проектирования турбин авиадвигателей /А.В. Деревянко, В.А. Журавлев, В.В. Зикеев /Под. ред. С.З. Копелева. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.
2. Проблемы газовой динамики и охлаждения авиационных турбин / В.Х. Абианц. – М.: Машиностроение, 1985.
3. Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний в обеспечение создания перспективных авиационных двигателей / В.А. Скибин, В.И. Солонин, В.А. Палкин. – М.: ФГУП ЦИАМ, 2010. – 637с.
4. DNS of the flow near the endwall in a linear low pressure turbine cascade with periodically passing wakes / D. Koschichow, J. Frohlich, I. Kirik, R. Niehuis – ASME, 2014.

## **Теплообмен на различных поверхностях проточной части турбин при заградительном охлаждении**

Жильцова Е.Н.

Научный руководитель – Викулин А.В.

МАИ, г. Москва

В разрабатываемых в настоящее время двигателях для ближне-среднемагистральных самолетов температура газа перед турбиной на максимальном режиме может достигать 2000-2100 К. Указанный уровень

температуры газа в турбине должен быть реализован при применении сопловых и рабочих лопаток с конвективно-пленочным охлаждением.

Наиболее перспективными являются многоканальные лопатки с интенсивным внутренним конвективным охлаждением и эффективным заградительным, с применением теплозащитного покрытия. Лопатки с конвективно-пленочным охлаждением позволяют без значительных изменений конструкции снизить местную температуру лопатки и, при необходимости, повысить температуру газа за счет усиления заградительного охлаждения.

Заградительное охлаждение – это подача охлаждающего воздуха непосредственно на наружную профильную часть лопаток, с тем чтобы теплоизолировать защищаемые поверхности от непосредственного воздействия потока газа. Обычно охлаждающий воздух подается внутрь лопаток и только потом выдувается на наружную поверхность. Так что, по существу, все заградительные способы охлаждения лопаток турбин являются комбинированными и при них одновременно идут три процесса:

- конвективное охлаждение внутренних стенок лопатки охлаждающим воздухом;
- внутренний теплосъем в каналах (порах) стенок лопаток;
- теплозащитное воздействие охлаждающего воздуха, выдуваемого на защищаемую поверхность.

При модельных статических испытаниях на решетках лопаток не представляется возможным исследовать эффективность охлаждения всего пера лопатки. Исследуется только среднее сечение и угол натекания потока на решетку лопатки выбирается по этому экспериментальному сечению.

Создание надежных численных моделей теплового состояния охлаждаемой лопатки газовой турбины невозможно без достоверных экспериментальных данных по граничным условиям теплообмена на внутренней и внешней поверхностях пера лопатки. К обобщенным опытным данным по теплообмену в турбинных лопаточных решетках относятся:

- средний (по обводу профиля) коэффициент теплоотдачи газа  $\alpha_{ср}$ , который изучался отечественными и иностранными исследователями на решетках сопловых и рабочих лопаток самой различной геометрии;
- число подобия  $S_r$ , учитывающее приближенное влияние основных геометрических параметров решетки на теплообмен;
- эффективность пленочного охлаждения  $\eta_{пл}$  – основной величиной, характеризующей теплообмен на лопатках турбин при заградительном их охлаждении, является.

С увеличением степени турбулентности основного и вдуваемого потоков эффективность пленочного охлаждения уменьшается.

Очевидно, что в зависимости от геометрических соотношений, в лопаточной решетке и рабочих условий протяженность участков на профиле с ламинарным, переходным и турбулентным пограничными слоями будет различной.

В высокотемпературных газовых турбинах охлаждаемыми элементами являются не только профильные части сопловых и рабочих лопаток, но также и корпус, торцевые стенки межлопаточных каналов лопаток и т. п. Наиболее распространенным способом охлаждения этих элементов является конвективно-пленочный.

Главной особенностью расчета эффективности пленочного охлаждения  $\eta_{пл}$  и коэффициента теплоотдачи  $\alpha_{пл}$  на торцовых стенках межлопаточных каналов при пленочном охлаждении является наличие поперечного (вдоль координаты  $z$ ) градиента давления  $dp/dz$ .

Самым простым способом организации пленочного охлаждения торцовой стенки является вдув охлаждающего воздуха через тангенциальную щель перед фронтом решетки. Однако, как показали результаты исследования эффективности такого способа охлаждения, он не дает удовлетворительных результатов

Расчет эффективности пленочного охлаждения  $\eta_{пл}$  торцовой стенки межлопаточного канала соплового аппарата в первом приближении выполняют следующим образом. Сначала любым из известных приближенных методов рассчитывают параметры потенциального течения в межлопаточном канале сопловой решетки. Затем определяют угол  $\varphi$ , характеризующий отклонение вектора скорости в пограничном слое от потенциальных линий. После этого для нескольких линий тока в области завесы с учетом угла  $\varphi$  выполняют расчет эффективности пленочного охлаждения  $\eta_{пл0}$  вдоль линий тока. После этого определяют  $\eta_{пл}$  для рассматриваемой поверхности. И отсюда далее следует вычисление коэффициента теплоотдачи  $\alpha_{пл}$  для турбулентного пограничного слоя.

### **Оценка эффективности плёночного охлаждения на турбинных лопатках по различным методикам**

Жильцова Е.Н., Павлов А.И.

Научный руководитель – Викулин А.В.

МАИ, г. Москва

Газовые турбины относятся к числу самых напряженных узлов конструкции ГТД, ограничивающих в большинстве случаев надежность двигателя и его ресурс.

Повышение температуры газа перед турбиной является одной из тенденций современного газотурбинного двигателестроения. Увеличение температуры газа в основном ограничивается прочностью рабочих лопаток турбин. Прочностные ограничения обусловлены теплонапряженным состоянием лопаток. Наиболее распространенной системой охлаждения современных турбин является схема открытого (с выпуском охладителя в проточную часть турбины) воздушного охлаждения. При высоких температурах для обеспечения длительной работы лопаток используется комбинированное конвективно-пленочное охлаждение. При пленочном охлаждении теплозащитный пристеночный слой образуется в результате взаимодействия системы струй охладителя, вытекающих через отверстия, со сносящим газовым потоком. Таким образом для надежной оценки теплового состояния лопаток требуются значения коэффициентов пленочного (заградительного) охлаждения на поверхностях лопаток. Поэтому становится актуальной задача адекватного определения коэффициентов эффективности пленочного охлаждения.

В связи с этим проводятся исследование различных методов расчета коэффициентов пленочного охлаждения. Как показала практика наиболее

простым из исследованных является алгебраический метод, основанный на применении полуэмпирической формулы Галицейского Б.М. Этот подход широко эксплуатируется отечественными разработчиками систем охлаждения турбин. Следующим по уровню сложности является усовершенствованный метод, основанный на моделировании выдува охладителя в рамках двухмерного пограничного слоя. Значимое место в методе занимает описанное в монографии уравнение для линии центра вытекающей струи. Непосредственное численное моделирование замыкает список использованных методов расчета заградительного охлаждения: комплекс программ ANSYS/CFX был так же задействован в вычислениях. Проведенный расчет показал, что при подборе оптимальной формы каналов лопаток рабочих колес расход через отверстия меняется в зависимости от их расположения по высоте, вследствие работы центробежных сил.

Используя программные продукты ANSYS, в частности ANSYS ICEM CFD и ANSYS FLUENT появляется возможность сравнивать параметры системы пленочного охлаждения на плоской пластине без применения дорогостоящего модельного эксперимента, а также выполнения оптимизации геометрических параметров каналов системы охлаждения до этапа их практической реализации. Кроме того, при сравнении расчетных данных может быть получена хорошая корреляция с данными эксперимента, что также показывает высокую достоверность метода и позволяет расширить его применение, в частности, на расчет пленочной системы охлаждения на криволинейной поверхности и, в дальнейшем, в составе системы охлаждения лопатки.

Возможности и ограничения применяемых методов были продемонстрированы путем проведения сравнительного анализа численных результатов и экспериментальных данных. Расчет коэффициентов пленочного охлаждения выполняется для выпусков охлаждающего воздуха на пластине и поверхностях турбинных лопаток. И эти многочисленные расчеты показывают, что, когда точки перехода определены правильно, наблюдается вполне приемлемое согласование расчетных значений коэффициентов теплоотдачи газа с экспериментальными.

## **Разработка технологии теплового проектирования охлаждаемых деталей высокотемпературных газовых турбин**

Земляная В.А.

Научный руководитель – Викулин А.В.

МАИ, г. Москва

Перспективы развития газотурбинных двигателей и стационарных установок, связанные с повышением температуры газа перед турбиной, предполагают организацию эффективного охлаждения деталей ее горячего тракта. Конструктивно-технологическая сложность охлаждаемых деталей турбины определяет большую продолжительность и высокие затраты этапа их доводки по сравнению с другими этапами разработки. Предлагаемая технология теплового проектирования охлаждаемых лопаток турбин позволяет решить комплексную задачу, направленную на повышение надежности и ресурса работы современных

газотурбинных двигателей (ГТД) при минимизации экспериментальных исследований, а, следовательно, и материальных вложений.

Для создания базового первоначального проекта лопатки на ранней стадии ее проектирования, когда отсутствует выполненный в металле вариант, выбор типа интенсификаторов теплообмена, их расположение и геометрические параметры осуществляется исходя из анализа эмпирических и экспериментальных данных с учетом обобщения результатов теплогидравлических исследований перспективных систем турбулизаторов потока в каналах сложной конфигурации. Последующая доводка по тепловому состоянию первоначального проекта базовой лопатки осуществляется на упрощенных по геометрии и материалу вариантах, выполненных с применением универсального оборудования.

С целью доводки лопатки по тепловому состоянию на более поздних этапах ее разработки, когда имеется литейной вариант базовой лопатки, разработана технология доводки с оперативным изменением конструкции каналов охлаждения методом имплантации. Данная технология позволяет проводить изменения геометрии внутренней полости на опытном образце и непосредственно дать качественную оценку картины теплового состояния, полученную в результате проведенных изменений.

Для окончательной доводки лопатки газовой турбины по тепловому состоянию и отработки ее технологичности в процессе серийного производства используется технология доработки керамических стержней, формирующих тракт охлаждения модификаций лопатки. Технология доводки конструкции керамического стержня позволяет оперативно проводить конструктивные изменения во внутренней полости лопатки, однако требует точного оборудования.

Научная новизна исследований заключается в разработке комплексной программы теплового проектирования и совершенствования конструкции теплонапряженных деталей ГТД с целью повышения надежности и ресурса работы двигателя, основанной на высокоинформативных методах исследований и контроля их функциональных параметров.

Практическая значимость предлагаемой технологии теплового проектирования подтверждается разработкой и совершенствованием метода калориметрирования теплонапряженных конструкций, который не требует изготовления полного пакета охлаждаемых лопаток, как при экспериментах на газовом стенде, а позволяет исследовать опытные единичные изделия на стадии проектирования и отработки конструкции (этап конструкторско-технологической доводки). Предлагаемый комплекс научно-технологических решений позволяет перенести центр тяжести экспериментальных работ с натуральных испытаний на имитационные исследования и тем самым значительно сократить материальные затраты на доводку ГТД в целом.

## **Анализ работы форсажной камеры при вибрационном горении и срывных режимах**

Иванова Т.С.

Научный руководитель – Викулин А.В.

МАИ, г. Москва

В турбореактивных двигателях для сверхзвуковых самолетов с целью преодоления звукового барьера и полета самолета со сверхзвуковой скоростью, а также для сокращения дистанции взлета, времени разгона и набора высоты требуется весьма существенное увеличение тяги двигателя. Эта цель достигается благодаря применению на двигателе специального устройства - форсажной камеры.

В форсажной камере может возникать особый режим работы, сопровождаемый колебаниями давления газа с большой амплитудой и частотами 50...5000 Гц. Этот режим получил название «вибрационное горение». Наличие вибрационного горения можно обнаружить по характерному звуку («визгу») и по быстрому разрушению стенок, экранов и других элементов форсажной камеры.

Различные виды вибрационного горения представляют собой достаточно широко распространенный и в ряде случаев трудноустраняемый дефект в организации процесса горения. Поэтому проблема изучения вопросов связанных с вибрационным горением в форсажной камере является актуальной.

Для подавления высокочастотных колебаний газа с успехом применяются перфорированные антивибрационные экраны, играющие роль акустических резонансных поглотителей, настроенных на подавление колебаний определенной частоты. Однако эти экраны обладают тем существенным недостатком, что их эффективность резко снижается при уменьшении частоты колебаний. Поэтому подавление низкочастотных колебаний (например продольных) представляет собой в настоящее время наиболее трудную задачу, методы решения которой приходится отыскивать в каждом конкретном случае.

Установка экрана в корпусе должна обеспечивать компенсацию разности тепловых расширений его элементов относительно оболочки. В радиальном направлении это обеспечивается продольными гофрами, которые при нагреве деформируются в пределах упругости материала, а в осевом направлении – овальными отверстиями в экране под болты крепления или телескопическими опорами на смежную секцию экрана.

Целью работы является изучение и анализ режимов неустойчивого горения, которые можно отнести к одной из форм вибрационного горения. Для решения поставленной необходимо проанализировать определенные концентрационные пределы устойчивого горения между «бедным» и «богатым» срывами пламени, а также режимы связанные с местными погасаниями и повторными воспламенениями отдельных очагов горения вследствие неравномерности распределения топлива вдоль кромок стабилизаторов. Эти пределы сужаются при снижении давления, увеличении скорости и снижении температуры газа в камере.

## **Анализ причин разрушения и способов сохранения работоспособности межроторного подшипника двухконтурного газотурбинного двигателя**

Игнатов А.И.

Научный руководитель – Ильинская О.И.

МАИ, г. Москва

Двухконтурные двухкаскадные газотурбинные двигатели с форсажной камерой имеют отличительные конструктивные особенности, которые позволили улучшить тяговые и расходные характеристики, но, одновременно привели к усложнению конструкции двигателя в целом. Установка двух роторов по системе «вал в валу» позволила разделить каскады низкого и высокого давления, вместе с этим возникла необходимость в увеличении количества опор и использовании большего количества опорных подшипников. Ротор низкого давления и ротор высокого давления в такой схеме имеют один общий межроторный (межвальный) роликовый подшипник качения, установленный перед задней опорой.

В настоящее время в авиационных газотурбинных двигателях в качестве опорных подшипников роторов высокого и низкого давления применяются подшипники качения с двумя видами тел качения - это шарики и ролики. Указанные подшипники относятся к числу высоконагруженных ответственных деталей, работающих в условиях повышенной температуры, и определяющих срок службы, а также надежность работы двигателя в целом.

На протяжении долгого времени в серии двухконтурных газотурбинных двигателей с форсажной камерой отечественного производства существует проблема, приводящая к выходу изделия из строя по причине разрушения межроторного роликового подшипника. Анализ статистики отказов говорит о том, что разрушение подшипника не систематизировано и происходит как на совершенно разных величинах наработки двигателя, так и при различных обстоятельствах. Выявлены случаи разрушений при малой наработке во время стендовых испытаний, испытаний на продление ресурса и др., при этом разрушение сопровождается повышением параметров вибраций. Данная проблема исследуется на всем протяжении времени с момента регистрации первых случаев разрушения и до настоящего момента.

Для успешного решения обозначенной проблемы были сформулированы следующие задачи: провести детальную оценку выявленных дефектов различных деталей узла турбины; проанализировать обнаруженные в ходе дефектации неполадки масляной системы; выявить возможное несоблюдение технологий производства, обслуживания и ремонта изделия.

В ходе проведения исследований на предприятии-изготовителе были выявлены такие причины, как: масляное голодание, несоблюдение моментов затяжки, несоблюдение режима охлаждения двигателя после останова, высокие контактные напряжения, повышенные допуски на соосность и другие. Полученные данные позволят сопоставить и оценить влияние всех возможных причин разрушения, определить их первостепенность, взаимосвязь, сформулировать способы обеспечения работоспособности изделия на протяжении всего жизненного цикла.

## Проблемы при создании ракетно-прямоточных двигателей

Коваленко С.В.

Научный руководитель – Викулин А.В.

МАИ, г. Москва

Двигательная установка, разрабатываемая на основе РПД, должна обеспечивать выполнение летно-технических требований по высотам, скоростям, дальности полета, углам атаки на траектории движения, газодинамической устойчивости режима работы (отсутствие помпажей, срывных режимов), вибрациям, перегрузкам, кратности включения и т.д. Эти требования должны выполняться в условиях ограничений, к которым, в первую очередь, относятся габаритно-массовые, в т.ч. на массу сбрасываемых в полете элементов, а также на уровень воздействия на окружающую среду.

Авиационные тактические ракеты при внешней подвеске на носителях испытывают многократные воздействия аэродинамического нагрева, скоростного напора, нестационарных скачков давления, перегрузок, повышенных вибраций, акустических нагрузок. В автономном полете проявляется и воздействие высокотемпературного рабочего тела в тракте двигателя, которое может включать в состав конденсированные продукты сгорания, обладающие повышенной эрозионной способностью.

Обеспечение разгона ЛА до маршевых параметров является общей проблемой всех ПВРД, решаемой различными способами. Так, можно выделить: двигатели, у которых стартовая ступень либо отсутствует (старт обеспечивает носитель или специальная установка, к примеру, электродинамического разгона); либо представляет собой автономный отделяемый или неотделяемый в полете двигатель (двигатели), располагаемый вне конструкции ПВРД, частично или полностью размещаемый в объеме камеры сгорания. Наконец, стартовая ступень может быть полностью интегрирована с маршевой камерой сгорания, представляя собой вкладной или прочноскрепленный заряд (заряды) стартового твердого топлива. Функцию разгонной ступени может выполнять пушечный выстрел.

Помимо задачи обеспечения эффективной работы двигателя на увеличенных углах атаки, требуется возможность установки ракеты на внешней подвеске самолета. Последнее означает, что температурный диапазон эксплуатации ракеты расширяется от крайних отрицательных значений ( $-60^{\circ}$ ) до наиболее высоких, возникающих в результате аэродинамического нагрева при сверхзвуковом полете на подвеске самолета. На форсажных режимах полета самолета температура корпуса ракеты может достигать  $250^{\circ}\text{C}$ . Другие проблемы, вызванные в полете вибрацией, ударами при посадке, воздействием всего комплекса факторов внешней среды, жестким требованием по отсутствию сбрасываемых элементов, массогабаритными ограничениями и потребностью регулирования скорости горения топлива в широком диапазоне высот полета, создают основные трудности для разработчиков двигательной установки в составе ракеты.

Ключевыми проблемами в настоящее время являются разработка твердых и пастообразных маршевых топлив с высокой объемной теплотой сгорания, а также узла обратимого регулирования расхода продуктов газификации маршевого топлива.

## **Анализ причин возникновения помпажа в газотурбинном двигателе и мер борьбы с ним**

Кузличенкова Е.С.

Научный руководитель – Ильинская О.И.

МАИ, г. Москва

В настоящее время использование газотурбинных двигателей (ГТД) широко распространено в авиации. В связи с этим одной из важнейших задач является оптимизация и обеспечение надежности работы ГТД. В данной работе рассмотрено одно из негативных явлений, возникающих в авиационных двигателях, помпаж.

Для обеспечения устойчивой работы двигателя необходимо учесть множество факторов, одним из которых является подача воздуха на лопатки компрессора под определенными углами атаки. Если данные углы будут превышать критические значения, то на спинах, а при определенной величине расхода воздуха и на корытах, лопаток произойдет срыв и турбулизация потока, образуются вихревые зоны. При определенных условиях распространение таких зон может происходить на несколько ступеней и даже на весь компрессор, что приводит к его нестабильной работе. Двигатель становится менее эффективным, в нем возникают значительные вибрации. Если не произвести стабилизацию работы двигателя, то совокупность данных факторов может привести к так называемому гидроудару. В этом заключается суть помпажа.

Возможны следующие причины возникновения помпажа: нарушение работы системы управления двигателя или входного устройства, попадание в тракт двигателя посторонних предметов, значительная неравномерность температур или давлений в тракте двигателя, разрушение и отрыв лопаток рабочего колеса компрессора.

Очевидно, что помпаж отрицательно воздействует не только на сам процесс работы двигателя, но и на элементы его конструкции в целом. При определенных условиях помпажные явления не приводят к значительным нарушениям в работе двигателя. Тем не менее они способствуют ускоренному износу механических узлов, что, так или иначе, в итоге может привести к отказу силовой установки самолета. Из этого следует, что изучение способов защиты двигателя от помпажа и их применение на практике являются важными задачами.

Существуют различные способы борьбы с помпажными явлениями. Наиболее распространенные из них – установка перепускного клапана после 4 ступени компрессора для возможности обеспечения выхода части воздуха, размещение специальной перегородки для уменьшения давления (так называемое дросселирование) и поворот лопаток направляющего аппарата.

В данной работе подробно рассмотрены достоинства и недостатки перечисленных методов борьбы с помпажом, представлены описания иных способов устранения и предотвращения данного явления.

Помимо этого, в работе приведены графики, иллюстрирующие изменения различных параметров (давления, температуры, частоты вращения ротора турбины, уровня вибрации) компрессора на нерасчетных режимах.

Собранные данные позволяют лучше понять сущность рассматриваемого явления, узнать о причинах его возникновения и последствиях, к которым он приводит, выбрать оптимальные методы для борьбы или предотвращения возникновения помпажных явлений в двигателе.

## **Исследование проблемы авиационного шума**

Моргачев О.А., Новиков С.Л.

Научный руководитель – Ильинская О.И.

МАИ, г. Москва

Способность к восприятию звуков у человека – одна из важнейших составляющих его полноценного общения с окружающим миром. Однако уровень звукового воздействия играет важную роль при оценке влияния шума на организм человека. Чувствительность человеческого уха зависит от частоты звука, а форма и вид этой зависимости изменяется с изменением интенсивности измеряемого звука (шума). Снижение шума окружающей среды является всемирной проблемой.

Безвреден для здоровья человека уровень шума в диапазоне 20-30 дБ. Вызывает беспокойство, нарушение сна, нервозность у человека уровень шума в диапазоне 50-60 дБ. Вызывает нарушение слуха у человека уровень шума в диапазоне 130-140 дБ.

Понятие сильного шума у большинства людей ассоциируется с ревом взлетающего самолета. Борьба с шумом в авиации занимает второе место по значимости после обеспечения безопасности полетов. До появления самолетов с реактивным двигателем крупнейшие аэропорты принимали около 10 самолетов в сутки. Сегодня это число увеличено до нескольких сотен. Посадка и взлет воздушных судов производится практически ежеминутно.

У разных типов самолетов есть различный уровень шума и частоты. В работе проведен анализ требований к уровню шума на местности для различных типов самолетов и вертолетов.

Основными источниками шума летательного аппарата являются аэрогазодинамические потоки в силовой установке, воздушный поток, обтекающий аппарат, и газовые потоки бортовых систем оборудования. Аэроакустика в основном имеет дело со звуком, создаваемым аэродинамическими силами и возмущениями, которые возникают в самом потоке. Если образование аэродинамического шума является следствием перехода энергии от вихревых возмущений к акустическим колебаниям, то успешное решение задач аэроакустики во многом связано с достижениями аэродинамики нестационарных течений, и в особенности турбулентных потоков.

В настоящее время уровни шума самолетов на местности на режимах взлета и захода на посадку являются главным критерием, определяющим возможность эксплуатации воздушного судна как на международных, так и на внутренних рейсах.

Нормирование авиационного шума осуществляется по двум направлениям: санитарному и техническому.

Для измерения шума был использован шумомер UNI-TUT 351, который является электронным измерительным прибором, реагирующим на звук

аналогично человеческому слуху и обеспечивающим объективное и воспроизводимое измерение уровней звука или звукового давления. Прибор состоит из ненаправленного измерительного микрофона, усилителя, корректирующих фильтров, детектора и цифрового индикатора.

Имелись три комплекта фильтров, обеспечивающих необходимую форму частотной характеристики: «А» при малой громкости ~40 дБ (используется в диапазоне 20-55 дБ), «В» - средней громкости ~70 дБ (55-85 дБ) и «С» - большой громкости (85-140 дБ). Измерения проводились на улицах, станциях метро, вблизи аэропорта на местности. По результатам измерений проведен анализ мероприятий, способствующих снижению уровня шума.

В настоящее время еще не создана мировая система оценки последствий воздействия шума окружающей среды на население и стоимости наносимого ущерба.

## **Перспективы развития микрогазотурбинных двигателей для беспилотных летательных аппаратов**

Мун С.И.

Научный руководитель – Силуянова М.В.

МАИ, г. Москва

В настоящее время существует значительный интерес к беспилотным летательным аппаратам (БПЛА). Правильный выбор силовой установки для БПЛА, особенно для малых и средних классов, является сложной задачей. Несмотря на целый ряд существенных преимуществ микрогазотурбинных двигателей (МГТД) в сравнении с электродвигателями и двигателями внутреннего сгорания, они обладают весьма низким общим коэффициентом полезного действия порядка 17%, что обуславливается низкими параметрами цикла и параметрами движителя. Поэтому остро стоит задача исследования путей повышения эффективности МГТД и их экономичности.

Интерес к вопросам проектирования и развития беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) значительно возрос за последние несколько десятилетий. БПЛА могут выполнять различные гражданские и военные миссии, включая фото- и видеоразведку, разведку радиоэлектронных средств противовоздушной обороны (ПВО), разведку биологической, химической и радиационной обстановки, ретрансляцию сигнала средств связи, а также могут использоваться для подавления средств ПВО противника и в качестве ложной цели для усложнения воздушной обстановки. Все эти миссии идеально подходят для БПЛА, которые могут быть как автономными, так и управляемыми удаленно.

В зависимости от назначения БПЛА, к нему предъявляются различные требования по полезной нагрузке, скорости, продолжительности, дальности и высоте полета. Эти требования могут изменяться в очень широких диапазонах: масса от нескольких килограмм до нескольких тонн, скорость от 20 км/ч до 900 км/ч и более, продолжительность полета от 1 ч до 50 ч, дальность полета от нескольких десятков километров до десятка тысяч километров, высота полета от нескольких сотен метров до нескольких десятков километров.

За последнее десятилетие число научных работ, направленных на изучение работы МГТД и, в более широком случае, работы ГТД в условиях низких чисел

Рейнольдса, значительно возросло. Согласно информации, опубликованной в конце 2010гг. в США был представлен один из первых турбовентиляторных МГТД с тягой 231Н и степенью двухконтурности  $m = 4$ , что еще раз подтверждает значительный интерес к МГТД и путям повышения их эффективности и экономичности.

Эти пути, прежде всего, связаны с повышением параметров цикла, параметров двигателя и КПД узлов, последнее станет возможным благодаря детальному изучению и внедрению в расчет лопаточных венцов теории пограничного слоя, моделей обтекания лопаточных венцов при низких числах Рейнольдса и совершенствованию методов экспериментальной аэродинамики.

Перспективными направлениями дальнейшего исследования МГТД следует считать развитие методов контроля отрыва ламинарного пограничного слоя со спинки лопатки путем введения искусственных турбулизаторов потока. Эти турбулизаторы могут быть не только механическими. В работе показана возможность применения акустических актуаторов, позволяющих существенно снизить потери с отрывом ламинарного пограничного слоя.

### **Анализ методов снижения эмиссии вредных веществ в камере сгорания газотурбинной установки**

Поспелов А.Р.

Научный руководитель – Ильинская О.И.

МАИ, г. Москва

Увеличение объема авиаперевозок, а также дальности и высоты полета воздушных судов способствует увеличению вредного воздействия со стороны авиации на окружающую среду. В настоящее время доля авиации в общем антропогенном загрязнении составляет около 1%, но в окрестности больших аэропортов может достигать 5% от общего объема выбросов в атмосферный воздух. Эмиссия вредных выбросов нормируется Международной Организацией Гражданской Авиации (ИКАО). С учетом увеличивающегося объема применения наземных газотурбинных установок (ГТУ) данная проблема представляется весьма актуальной.

Рассмотрение рабочего процесса газотурбинного двигателя (ГТД) показывает, что основным узлом, определяющим его экологические характеристики, является камера сгорания (КС). Таким образом, снижение вредных выбросов в атмосферу напрямую связано с разработкой перспективных КС сложной конструкции с увеличением числа зон горения, каждая из которых оптимизируется на определенный режим работы. Кроме того, необходимо совершенствовать существующие КС ГТД с целью обеспечения ими уровня выброса токсичных компонентов в пределах существующих нормативов.

При сгорании топлива образуются такие вредные компоненты, как окись углерода (СО), окислы азота ( $\text{NO}_x$ ), несгорающий углеводород (НС) и дыма (SN). Основные трудности при создании низкоэмиссионной КС связаны с тем обстоятельством, что уменьшение выхода СО приводит к увеличению выхода  $\text{NO}_x$  и наоборот.

Окись углерода образуется вследствие:

- неполного сгорания топлива в сильно обедненных смесях;

- наличия холодного пристеночного слоя;
- нехватки кислорода при горении богатых смесей;
- диссоциации  $\text{CO}_2$  при высоких температурах.

Оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ) образуются в результате окисления азота, находящегося в атмосферном воздухе и в топливе. Процесс образования оксида азота эндотермичен и идет с заметной скоростью при температурах выше 1800К.

Результаты анализа литературных источников и разработок в направлении уменьшения выбросов вредных веществ позволяют выделить следующие типовые технологии:

- схема RQL, горение обогащенной смеси с последующим быстрым подмешиванием воздуха и догоранием обедненной смеси (ReachQuenchLean);
- схема LPP, горение обедненной предварительно смешанной и испаренной смеси (LeanPremixedPrevaporized);
- схема LDI, горение с впрыском обедненной смеси непосредственно зону горения (LeanDirectInjection);
- схема горения в КС с изменяемой геометрией;
- схема горения в каталитической КС.

В работе приводятся преимущества и недостатки указанных технологий.

### **Особенности топливных баков двигательных установок долговременных орбитальных средств на криогенных компонентах топлива, вызванные поддержанием температурного режима**

Ремчуков С.С.

Научный руководитель – Ярославцев Н.Л.

МАИ, г. Москва

В процессе выведения и последующих этапов работы долговременных орбитальных средств с использованием криогенных компонентов топлива задача защиты от воздействий тепловых потоков является очень важной в силу чувствительности криогенных топлив даже к незначительным воздействиям.

Одним из наиболее распространенных и надежных средств пассивного терморегулирования в системе обеспечения теплового режима космического аппарата является экранно-вакуумная теплоизоляция.

Применение экранно-вакуумной теплоизоляции обеспечивает возможность существенно снизить интенсивность теплообмена элементов конструкции и оборудования космического аппарата с окружающей средой, то есть уменьшить тепловой поток, поступающий к элементам конструкции и оборудованию космического аппарата от Солнца.

В настоящее время применяются различные виды экранно-вакуумной теплоизоляции, работоспособной в широком диапазоне температур. Определяющим параметром температурных условий эксплуатации экранно-вакуумная теплоизоляция является термооптическая характеристика ее наружного облицовочного слоя, подверженного воздействию Солнечной радиации.

Наружный облицовочный слой экранно-вакуумной теплоизоляции одновременно является одним из элементов пассивного терморегулирования, а его термооптическая характеристика часто определяет не только тепловой поток

через теплоизоляцию, но и температурный диапазон эксплуатации отдельных объектов терморегулирования. В качестве материалов наружного облицовочного слоя применяются полиамидные, капроновые и другие полимерные или стекловолоконные ткани, имеющие достаточную стойкость к условиям эксплуатации космического аппарата.

Еще одним способом защиты криогенных топлив от внешних тепловых потоков является применение различных экранов. Экраны ориентируют на Солнце, тем самым защищая баки от лучистых тепловых потоков.

Длительное хранение (месяцы, годы) криогенного топлива также предполагает обязательное применение в составе изделия криогенного рефрижератора, предотвращающего (уменьшающего) потери водорода и кислорода от внешних теплопотоков к бакам. Данный факт предполагает использование регенеративного охлаждения топливных баков холодными газами (гелием, неонем), постоянно циркулирующих и отнимающих тепло от компонентов топлива.

Таким образом, емкости для криогенных компонентов топлива обладают рядом существенных особенностей, усложняющих конструкцию. С целью обеспечения температурного режима криогенных компонентов топлива в условиях космического пространства необходимо применить комплексную теплоизоляцию (при необходимости, с применением защитных экранов), а также систему активного криостатирования.

## **Особенности ремонта газотурбинных двигателей**

Родионов Я.В.

Научный руководитель – Ярославцев Н.Л.

МАИ, г. Москва

Современные образцы газотурбинных двигателей имеют ресурс десятки и сотни тысяч часов. Например, наработка на неустраняемое в полете выключение двигателя ПД-14 – 200 тысяч часов. Для предотвращения списания двигателя, которое вызвано моральным старением, необходимо, чтобы срок его службы был 15-25 лет. В связи с этим возникает необходимость более интенсивного использования парка летательных аппаратов и двигателей, т.е. сведение к минимуму всех простоев. Наиболее продолжительные простои двигателей наблюдаются при их ремонте. Уменьшение сроков ремонта требует совершенствования всей системы планирования и организации ремонта.

Также важно и то, что качество ремонта сказывается на интенсивности потока отказов и неисправностей. Одновременно со снижением затрат на ремонт и уменьшением календарной продолжительности ремонта должно обеспечиваться повышение качества ремонта. В противном случае снижение затрат на ремонт обернется повышенными потерями в эксплуатации двигателя и простоями летательного аппарата.

В рамках эксплуатационного обслуживания выполняются регламентные работы, производится текущий ремонт. Капитальный и средний ремонты отличаются большей трудоемкостью, потребностью в использовании сложнейшего оборудования, в связи с чем выполняются на заводах-изготовителях или авиаремонтных предприятиях.

Последовательность средних и капитальных ремонтов образует систему ремонтов. Наиболее экономически целесообразна система ремонтов по фактическому техническому состоянию. Такая система предполагает, что наработка до очередного ремонта задается заранее и не связана с состоянием конкретного двигателя. При этом оказывается, что для элементов двигателя, которые находились в более благоприятных условиях эксплуатации, ремонт мог бы быть выполнен намного позже, чем это определено величиной ресурса двигателя. Ремонт выполняется при наработке, отвечающей предельному состоянию машины, при котором требуется устранение неисправностей. Повышенными требованиями к разрабатываемому двигателю с такой системой ремонта являются высокая живучесть, контролепригодность и заменяемость элементов машины.

Наибольший объем работ выполняется при капитальном ремонте. При таком ремонте двигатель последовательно разбирается до деталей, т.е. полностью, после чего каждая деталь промывается и дефектируется. Дефекты устраняются либо путем ремонта этой детали, либо ее заменой. После ремонта двигатель последовательно собирается и испытывается. Пройденный испытания двигатель возвращается в эксплуатацию. Большой объем работ в совокупности со сжатыми сроками ставят сложную комплексную задачу планирования и организации капитального ремонта создаваемого вновь газотурбинного двигателя.

Совершенствование ремонтной технологии газотурбинного двигателя имеет особое значение в настоящее время, так как конструкция вновь создаваемого двигателя становится более сложной. Так, применение колес компрессора и турбины по технологии «блиск», когда лопатки и диск изготавливаются как единое целое, не предусматривает типовых операций по замене поврежденных лопаток или диска. Учитывая, что замена детали целиком экономически нецелесообразна, совершенствование таких методов ремонта, как добавление нового материала с помощью лазерного напыления, электронно-лучевая сварка с последующей адаптивной механической обработкой восстанавливаемого участка или замена лопаток при помощи сварки трением являются одними из актуальных направлений в двигателестроении.

### **Анализ влияния тепловых возмущений на газодинамическую устойчивость осевого компрессора воздушно-реактивного двигателя**

Россоловский И.А.

Научный руководитель – Земляная В.А.

МАИ, г. Москва

Воздух, поступающий в компрессор газотурбинного двигателя (ГТД) имеет множество параметров: температура, скорость, давление, плотность, химический состав и др. Данные параметры непосредственным образом влияют на работу ГТД. Работа двигателя при постоянных высоте и скорости, постоянном секундном расходе топлива и практически неизменной во времени тягой называется работой на установившемся режиме. На практике работа двигателя в таких условиях наблюдается довольно часто.

Однако в работе ГТД существует проблема неустойчивой работы двигателя с хаотически изменяющимися характеристиками, вызванной резким изменением давления, тепловых возмущений, скорости и других параметров воздуха на входе в компрессор. Неустойчивая работа компрессора характеризуется резкой дестабилизацией рабочего процесса, возрастающими вибрациями (которые могут перейти в резонансные частоты), повышением износа узлов и агрегатов и опасностью останова двигателя, что в полетных условиях может привести к непоправимому ущербу для силовой установки и потере воздушного судна.

Воздействие на ГТД высокоскоростных тепловых возмущений, в отличие от неоднородности полного давления, может привести к значительному рассогласованию режимов работы каскадов компрессора и их ступеней, поскольку при изменении входной температуры заторможенного потока воздуха меняются и характерные приведенные параметры ступеней – частота вращения ротора компрессора и расход воздуха через проходное сечение.

Неустойчивость работы компрессора приводит к повреждению лопаток компрессора вследствие воздействия на них высокочастотных перепадов давлений, к нестабильному или вибрационному горению в камере сгорания. В результате неустойчивого процесса горения лопатки турбины обтекаются факелом пламени, топливо сгорает в турбине и непосредственно на поверхности лопаток, что приводит к их практически мгновенному их обгоранию. В лучшем случае лопатки турбины обтекаются нестабильным потоком с неравномерной скоростью, температурой и давлением по поперечному сечению. В свою очередь, неустойчивая работа турбины вызывает рассинхронизацию в работе роторов и потерю тяги.

В работе представлен анализ влияния изменения параметров воздуха на входе в компрессор на нарушение его газодинамической устойчивости, вызванное тепловым возмущением. Кроме того, рассмотрены процессы восстановления параметров компрессора до уровня расчетных величин.

Проведен анализ явлений, возникающих при неустойчивой работе компрессора, таких как: вихреобразование, встречный вихрь, срыв потока со спинки лопаток, срыв потока с корытца лопаток. Рассмотрены способы борьбы с помпажем и проведен сравнительный анализ эффективности данных способов.

Рассмотрена работа компрессора на нерасчетных режимах в условиях пульсаций давления и установившегося вихревого течения, представлен анализ изменений частоты вращения, давления и температуры за компрессором. Предложены направления совершенствования компрессоров ГТД целью повышения их устойчивости к нерасчетным режимам течения рабочего тела.

## **Анализ систем регулирования рабочих процессов и управления тягой ракетных двигателей твердого топлива**

Савельев В.П., Шевчик А.П.

Научный руководитель – Силуянова М.В.

МАИ, г. Москва

Системы регулирования рабочих процессов и управления тягой ракетных двигателей твердого топлива предназначены для обеспечения требуемых

баллистических характеристик ракет, а также в целях использования тяги двигателя для управления движением ракеты.

С учетом классификации систем управления можно выделить:

- системы стабилизации характеристик ракетных двигателей твердого топлива, обеспечивающие постоянство заданных значений давления в камере, расхода топлива или тяги двигателя;
- системы программного регулирования, осуществляющие изменение тяги (давления в камере, расхода топлива) в соответствии с заданной при проектировании закономерностью во времени;
- системы адаптации программы тяги, у которых требуемая программа может задаваться непосредственно перед пуском ракеты;
- системы командного управления тягой, в которых тяга ракетного двигателя твердого топлива используется для создания сил, управляющих полетом ракеты. Такие системы подразделяются на системы прерывистого (ступенчатого или импульсного) управления, у которых тяга изменяется либо ступенчатым образом, либо в виде последовательности дискретных импульсов, и на системы непрерывного пропорционального управления, у которых тяга изменяется пропорционально внешнему управляющему сигналу.

При создании систем регулирования характеристик рабочего процесса и управления тягой ракетного двигателя твердого топлива необходимо помимо традиционных требований к двигателю учитывать специальные требования к двигателю, как к элементу системы управления.

Основные особенности требований, предъявляемых к ракетному двигателю твердого топлива с системой регулирования:

- минимальное ухудшение энергетических, массовых и габаритных характеристик;
- сохранение преимуществ в простоте эксплуатации, готовности к действию и высокой надежности.

Специальные требования к регулируемому ракетному двигателю твердого топлива определяются назначением и функциями системы регулирования:

- энергетические, массовые и габаритные характеристики системы регулирования;
- зависимости изменения характеристик двигателя по времени (циклограмма тяги);
- диапазон регулирования;
- динамические характеристики системы регулирования;
- требования к точности регулирования.

Значительные эксплуатационные преимущества, простота конструкции, постоянная готовность к действию, высокая надежность, лучшие динамические характеристики и низкая стоимость по сравнению с другими типами ракетных двигателей привели к широкому применению ракетных двигателей твердого топлива в качестве двигателей управляемых ракет. С применением твердотопливных двигателей связано возрастание интенсивности исследований и разработок в области систем регулирования характеристик ракетных двигателей твердого топлива.

## **Сборочный процесс и усовершенствование сборки авиационного двигателя**

Сизонец Ю.В.

Научный руководитель – Маликов С.Б.

МАИ, г. Москва

Технологический процесс сборки является завершающим и наиболее ответственным этапом производственного цикла двигателей летательных аппаратов, как и многих других машин.

Надежность двигателя в эксплуатации, его важнейшие параметры: мощность, удельный расход топлива и другие, в значительной степени определяются уровнем технологии сборки и ее качеством. В процессе сборки выявляются многие дефекты предшествующих технологических процессов, а также (связанная со сборкой) технологичность конструкции изделий.

Производственные отступления от основных требований технологии сборки, предусмотренных в соответствующей документации, служат, как правило, причиной выхода из строя на испытаниях или при эксплуатации.

Процесс сборки двигателя отличается сложностью, так как в отличие от предшествующих процессов, объектами которых служат детали, объектами сборки являются более сложные специфицированные изделия, до законченных двигателей включительно.

Процесс сборки характеризуется:

- во-первых, многообразием выходных параметров (геометрических, кинематических, электрических и др.), свойственных изделиям в целом;
- во-вторых, сложностью и недостаточной изученностью сопутствующих физических явлений, как например: деформация деталей, контактные напряжения и др., что затрудняет расчеты ожидаемой точности и обеспечение заданных значений выходных сборочных параметров;
- в-третьих, чрезвычайным многообразием рабочих движений, воспроизведение которых в автоматических сборочных системах и машинах затруднено, а подчас и невозможно, чем, главным образом, объясняется весьма низкий уровень механизации и автоматизации сборочных работ.

Трудоемкость сборки составляет в настоящее время в среднем 25-35% от общей трудоемкости изготовления машин, и так как по темпам механизации она значительно отстает от других процессов производства, относительная трудоемкость процессов сборки продолжает расти.

Поэтому механизация и автоматизация сборки является неотложной и одной из главных проблем в области технологии сборки. Однако она не может быть решена без участия конструкторов, так как предъявляет свои, специфические, требования к разработке конструкции деталей и изделий.

В заключение отмечу, что технологический процесс сборки требует высокой общей культуры производства, и поддержание ее составляет одну из важнейших задач технологов на заводах двигателестроения. Также технологи должны учитывать замечания и предложения со стороны рабочего персонала и вносить изменения в кратчайшие сроки, ведь слесарь-сборщик не может отступать от технических условий даже если знает наиболее рациональный и

быстрый способ сборочного процесса. Выполнение данных рекомендаций позволит сэкономить временные, трудовые и материальные ресурсы.

## **Анализ способов получения водородного топлива**

Соколов Н.С.

Научный руководитель – Ильинская О.И.

МАИ, г. Москва

Электролиз воды – один из наиболее известных и хорошо исследованных методов получения водорода. Суммарный процесс разложения воды электролизом является процессом, обратным горению водорода. Поэтому теоретическая величина энергии, которая требуется на единицу количества производимого водорода, равна теплоте сгорания водорода.

Приоритет изобретения по получению водорода из воды путем ее электролиза принадлежит русскому ученому Лачинову Д.А. (1888г.). На сегодня известны такие методы получения водорода при разложении воды, как термический, электролитический, каталитический, термохимический, термогравитационный, электроимпульсный. С позиции энергозатрат наиболее энергоемкий – термический способ, а наименее энергоемкий – электроимпульсный метод американца Стэнли Мэйера.

Технология Мэйера основана на дискретном электролизном способе разложения воды высоковольтными электрическими импульсами на резонансных частотах колебаний молекул воды (электрическая ячейка Мэйера). Она прогрессивна и перспективна и по применяемым физическим эффектам и по энергозатратам, однако производительность данной технологии пока мала и сдерживается необходимостью преодоления межмолекулярных связей жидкости и отсутствием механизма удаления генерируемого топливного газа из рабочей зоны электролиза жидкости.

Кроме того, процесс диссоциации воды в методе Мэйера замедлен из-за того, что при электростатическом отрыве молекул воды из самой жидкости приходится тратить время и энергию на преодоление огромной скрытой потенциальной энергии межмолекулярных связей и структур воды.

Получение топливных газов из жидкостей при минимальных затратах энергии является весьма непростой научно-технической задачей. При получении топливного газа из воды в известных технологиях расходуется существенное количество энергии на преодоление межмолекулярных связей воды в ее жидком агрегатном состоянии.

Несмотря на распространенность воды в природе, структура и свойства самой воды и ее соединений во многом еще не изучены. Физико-химический состав даже обычной водопроводной воды достаточно сложен из-за присутствия многочисленных межмолекулярных связей, цепочек и иных структур молекул. В частности, в обычной водопроводной воде имеются различные цепочки особо соединенных и ориентированных молекул воды с ионами примесей (кластерные образования), различные ее коллоидные соединения и изотопы, минеральные вещества, а также многие растворенные газы и примеси.

Очевидно, что межмолекулярные связи водяного пара слабее, чем у воды в виде жидкости, и тем более в виде льда. Газообразное состояние воды еще более

облегчает работу электрического поля по последующему расщеплению самих молекул воды на  $H_2$  и  $O_2$ . Поэтому методы эффективного перевода агрегатного состояния воды в водяной газ (пар, туман) – это перспективный магистральный путь развития электроводородной энергетики. Но не все так просто с переводом воды в газообразное состояние. Классический способ ее интенсивного испарения – это термический нагрев воды, требующий значительное количество тепловой энергии.

### **Исследование применения перспективных керамоматричных подшипников скольжения в современных газотурбинных двигателях**

Фертиков А.О.

Научный руководитель – Силуянова М.В.

МАИ, г. Москва

Необратимое движение человечества к созиданию нового технологического уклада и возникающие с ним повсеместные возрастающие требования к существенной модернизации и развитию авиационной техники и двигательных установок в частности не могут быть проигнорированы в нынешних условиях стратегически необходимого получения абсолютного преимущества над иностранными образцами по совокупности основных тактико-технических характеристик (ТТХ) и экономичности.

Стоящая в настоящий момент задача кардинального улучшения основных характеристик двигательных установок гражданской и военной техники, а так же прогнозируемые жесткие условия их дальнейшей эксплуатации и конкурентоспособности диктуют первоочередную необходимость скорейшей разработки и применения новых технологий изготовления наиболее нагруженных и критических деталей, узлов и агрегатов из новых конструкционных материалов, которые значительно превосходят по физико-механическим и эксплуатационным параметрам традиционные, но при этом не увеличивают себестоимость изделий, а существенно снижают ее.

В качестве наиболее рентабельного, быстрого и эффективного решения поставленной задачи осуществлена разработка технологии получения различных многофункциональных наноструктурных керамоматричных композиционных материалов (КМК) широкого спектра применения, позволяющих кардинально повысить ТТХ авиационной техники без разработки принципиально новых конструктивных решений.

Наиболее освоенными и изученными являются технологии получения КМК для изготовления нагруженных узлов трения газотурбинных двигателей. Так же, внимание акцентировано на реализацию подшипниковых узлов в новых материалах чисто прикладным характером вопроса.

Внедрение и замена подшипников в современных газотурбинных двигателях происходит при плановом техническом обслуживании. Таким образом, без вмешательства в конструкцию и технологию изготовления двигателя может быть привнесено новшество, которое значительно повысит его ресурс и надежность.

В данной работе исследована перспектива внедрения в конструкцию газотурбинных двигателей узлов трения, выполненных с применением КМК. Исследование проводится на основании проведенных в 2009-2012 годах испытаниях различных подшипников скольжения, выполненных с применением КМК.

Объектами испытаний являются две группы подшипников скольжения, первая группа выполнена с антифрикционными покрытиями из КМК, вторая группа имеет цельные узлы, выполненными из КМК.

В ходе исследования подтверждены возможность использования КМК в узлах трения газотурбинного двигателя, сделан предварительный выбор в пользу развития технологий производства подшипников второй группы и сформулированы дальнейшие перспективы развития керамоматричных композитных материалов в авиационной технике.

## **Исследование конструкции блока сопел основного ракетного двигателя ракетного блока аварийного спасения**

Шевчик А.П.

Научный руководитель – Силуянова М.В.

МАИ, г. Москва

Конструкция блока сопел основного ракетного двигателя представляет собой четырехсопловой переходник, соединяющих корпуса ОРД, и включает в себя следующие составные части:

- силовой корпус сварной конструкции с приваренными патрубками полусферической формы;
- теплозащитное покрытие, нанесенное на внутреннюю поверхность силового корпуса;
- теплозащитные вкладыши в патрубки;
- четыре сопла, включающие в себя:
- силовую оболочку;
- облицовку;
- вкладыш критического сечения;
- кольцо упорное;
- заглушку.

Силовой корпус состоит из цилиндрической обечайки из стали с двумя стыковочными фланцами и четырех патрубков, к которым под углом приварены резьбовые фланцы для крепления сопел.

Теплозащитное покрытие цилиндрической обечайки и патрубков состоит из углепластика и приклеивается к металлической части клеем.

Каждое из сопел состоит из силовой оболочки из стали, имеющей резьбовой фланец для соединения с патрубками корпуса, профилированной облицовки из углепластика, установленной на клее; кольца упорного из стеклопластика и вкладыша критического сечения, которые установлены на клее.

Предусмотрено несколько вариантов для изготовления вкладыша критического сечения сопла:

Конструкционный мелкозернистый графит. Технологически возможно увеличить плотность путем проведения ряда дополнительных операций.

Плотность графитового вкладыша влияет на его эрозионную стойкость в процессе работы двигателя. Вкладыш критического сечения, выполненный из графита, имеет хрупкий характер разрушения. При значительных температурных градиентах по толщине детали могут развиваться внутренние термические напряжения и, как следствие, трещины. Поэтому при отработке основного ракетного двигателя с соплами, имеющими графитовые вкладыши критического сечения, необходимо выделить испытание для определения работоспособности в условиях термоудара. Преимущества графита в качестве материала для изготовления вкладышей критического сечений сопел: низкая стоимость изготовления деталей и высокая эрозионная стойкость;

Углерод-углеродный материал, который полностью отработан на изделиях, однако обладает более высокой стоимостью.

Уплотнение стыка сопла с патрубком переходника обеспечивается резиновым кольцом. В сверхзвуковую часть сопла вклеена заглушка из листового алюминиевого сплава с пазами. При запуске двигателя заглушка раскрывается на четыре равных сектора, которые впоследствии сгорают в сверхзвуковой части сопла. Заглушка прошла полный цикл отработки в ранее разработанных изделиях. Общая масса соплового блока – 300 кг. Применяемые материалы имеют достаточную сырьевую и производственную базы.

## **Проект универсального реактивного двигателя на ториевом топливе**

Юсупова И.А.

Научный руководитель – Земляная В.А.

МАИ, г. Москва

Торий называют «топливом будущего». Он имеет малую радиоактивность, при этом, по подсчетам ученых, всего 8 грамм тория-232 позволят работать двигателю в течение 100 лет, а 1 грамм произведет больше энергии, чем 28 тыс. литров бензина. Одна тонна тория производит столько же энергии, сколько производят 200 тонн урана или 3,5 млн тонн угля. Кроме того, запасы тория в России в 2-4 раза превышают запасы урана, торий при всех своих полезных свойствах обладает также дешевой по сравнению с другими ядерными элементами. Торий при распаде испускает альфа-, бета-частицы, а также электроны.

Из истории известно, что первый авиационный ядерный двигатель был создан в 1946 году. Однако ряд негативных факторов, таких как: полная герметизация отсека с пилотами, утяжеление конструкции, облучение радиоактивным веществом, привели к запрету дальнейшего использования ядерных двигателей. Более того, двигатель не мог работать самостоятельно без использования дополнительных двигателей для отрыва от земной поверхности и для создания дополнительной тяги. Предлагаемая конструкция может работать без дополнительных двигателей, а также может использоваться как отдельная ядерная установка. Касательно тория, Максимов Лев Николаевич разработал проект модернизации атомной станции с использованием тория вместо урана, однако патент Льва Максимова потерял юридическую силу в 2013 году.

В данном проекте рассмотрена универсальная схема двигателя на ториевом топливе, учитывающая энергоёмкость тория, а также его уникальные свойства. Предлагаемый двигатель может быть сравним по конструкции с электронно-лучевой трубкой, по принципу действия – с адронным коллайдером, электронно-лучевой трубкой и пушкой Гаусса одновременно.

Упрощенная схема двигателя содержит ядерный реактор открытого типа, в который поступает расходное вещество (в атмосфере этим веществом будет являться воздух). Данный двигатель позволит получать реактивную тягу не на принципе действия химической реакции сжигания топлива, а за счет приобретения скорости выходящих из сопла частиц посредством их нагрева и последующего ускорения.

Данный двигатель может работать как в условиях вакуума, так и в более плотных средах: атмосфера планет либо жидкость (сжиженный газ, вода). Он может найти применение для различных целей, например:

- изучение рельефа, климата, передвижение газовых и жидкостных сред планет по радиоактивному шлейфу, оставленному посредством работы летательного аппарата;
- использование в качестве универсального двигателя, который будет работать непосредственно у Земли как авиационный двигатель, и имея выход за пределы атмосферы как ракетный двигатель;
- использование в качестве силовой установки для подводных лодок;
- использование в качестве ядерной установки при креплении к спутникам или МКС и т.д.

Предлагаемый двигатель на ториевом топливе открывает перед человечеством большие перспективы по освоению других планет, осуществлению далеких межзвездных и межгалактических полетов, изучению бескрайнего космического пространства.

## **СЕКЦИЯ № 17. Наземная и лётная отработка и испытания летательных аппаратов**

Руководитель секции: д.т.н., профессор Бахвалов Ю.О.

---

### **Анализ перспектив создания и развития стартовых комплексов и систем для малых космических аппаратов**

Агапитов К.А.

Научные руководители – Блатиков. Г.А., Шаповалов Р.В.

МАИ, г. Москва

В настоящее время жесткая конкуренция на мировом рынке космических товаров и услуг заставляет его участников предоставлять свои возможности в кратчайшие сроки, качественно и по низким ценам без снижения целевой эффективности космических систем. Одним из основных препятствий при продвижении на рынке являются высокая стоимость и продолжительность создания космических аппаратов, средств выведения, а также высокая стоимость запусков и длительное время их подготовки. Одним из вариантов удешевления радикальное уменьшение массы космических аппаратов.

Основное достоинство малого космического аппарата (МКА) – это его ценовая привлекательность, которая дополняется реальной возможностью быстро продать или сдать его в аренду. Низкая цена позволяет также формировать целые спутниковые системы, которые могут осуществлять непрерывный мониторинг земной поверхности, а также решать вопросы телекоммуникации и т.п.

Преимущества МКА:

- Сравнительно низкая цена, а также небольшое время, необходимое для разработки и изготовления МКА.
- Низкая стоимость запуска космического аппарата.

Ракета-носитель даже легкого класса способна вывести на орбиту несколько МКА. Кроме этого, для запуска применяются конверсионные баллистические ракеты, которые в соответствии с договорами уничтожаются путем запуска в космос с полезной нагрузкой. Легкие космические аппараты могут выводиться в качестве попутного груза на ракетах-носителях или в транспортных кораблях, доставляющих грузы на долговременные орбитальные станции.

- Снижение риска больших финансовых потерь при гибели МКА в случае аварии ракеты-носителя на старте или при неудачном выведении на рабочую орбиту.

Для выведения МКА используются различные средства запуска:

- Наземные средства выведения, такие как ракеты-носители легкого класса «Союз-2в», «Таймыр» и т.п.
- Средства выведения воздушного базирования – «Воздушный старт».
- Многоразовые космические системы.
- Конверсионные ракеты, такие как «Днепр», «Космос», «Рокот» и т.п.

- Средства выведения подводного базирования, которые осуществляют запуск ракет с подводных лодок. Такие проекты, как «Штиль», «Волна».

Основным преимуществом этих средств выведения является то, что для запуска можно использовать уже существующие стартовые комплексы, что существенно снижает временные и экономические затраты на разработку.

### **Исследование точностных характеристик результатов испытаний**

Ворошилин А.П., Колтуновская М.С.

Научный руководитель – Кириллин А.В.

МАИ, г. Москва

Техническое состояние объекта испытаний характеризуется случайным вектором показателей качества (параметров):

$W(t) = W_0(t) + \Delta W$ , где  $W_0(t)$  – вектор номинальных значений,  $\Delta W$  – вектор отклонений от номинальных значений. Вектор отклонений  $\Delta W$  формируется в результате действия на объект испытаний в процессе проведения испытаний большого количества случайных факторов, основными из которых являются: технологический разброс параметров ОИ; погрешность средств измерений; погрешность от ограничений на объем выборки при испытаниях, и пр.

В результате вектор отклонений носит случайный характер и для его описания используются статистические точностные характеристики, которые подразделяются на характеристики чувствительности, адекватности, точности и достоверности результатов, правильности и воспроизводимости результатов.

Основные широко используемые в практике точностные характеристики результатов испытаний сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Номенклатура точностных характеристик результатов испытаний

Класс характеристики	Наименование характеристики
Точность результатов испытаний	Погрешность результата Коэффициент точности метода Коэффициент вариации Относительная доверительная ошибка
Воспроизводимость результатов испытаний	Расхождение между результатами повторных испытаний Дисперсия воспроизводимости
Достоверность результатов испытаний	Вероятность ложного и необнаруженного отказов Риск изготовителя Риск заказчика

Использование комплекса точностных характеристик результатов испытаний обеспечивает системный подход к разработке методов испытаний сложных технических систем, таких как системы летательных аппаратов.

## **Применение веб-технологий при создании элементов единого информационно-технологического пространства испытательной стендовой базы**

Архипов И.С.

Научный руководитель – Перванюк А.С.

МАИ, г. Москва

В настоящее время проблема интеграции информационных потоков предприятий в едином пространстве стоит как никогда остро ввиду увеличения объемов рабочих данных. Управление данными является сложным процессом, и техника их анализа должна меняться с течением времени с ростом объемов данных.

Постоянный рост объемов данных связан в первую очередь с необходимостью проведения более точных вычислений и повышения качества прогнозирования изменений в задачах управления. Понятие «больших данных» существует не первое пятилетие, однако в авиационно-космической отрасли в сфере испытаний отдельных узлов и агрегатов оно начинает уверенно закрепляться только сейчас. Это связано со стремительным технологическим ростом программных средств систем автоматизированного проектирования, их тесной интеграцией с системами математического моделирования и анализа данных.

Данные, получаемые об объектах испытаний, должны быть хорошо структурированы в части хранения в рамках предприятия. Если у предприятия имеется несколько подразделений, работающих над одним и тем же изделием, унификация хранилища данных позволит не создавать дополнительных препятствий при анализе данных. Такой подход обеспечит максимально тесную интеграцию данных различных систем одного изделия. Качество просчёта компьютерной модели целого изделия зависит от качества математического взаимодействия моделей каждого из агрегатов. Унификации интерфейсов взаимодействия моделей изделия способствует организация единого информационно технологического пространства (ЕИТП) испытательной стендовой базы.

Концепция ЕИТП позволяет решать задачи полного жизненного цикла процесса испытаний, начиная от планирования и заканчивая формированием отчётности. Единое хранилище данных в рамках одного предприятия без унификации интерфейса доступа к данным не представляется в полной мере интересным. Для доступа к данным, в т.ч. с целью анализа данных испытаний, предлагается создание корпоративного веб-портала. Предусмотрено покомпонентное развёртывание системы ЕИТП, что обеспечивает её гибкость.

Веб-технологии позволяют использовать все преимущества мировых стандартов обмена данными, включая их защиту, при реализации системы уровня предприятия. Мониторинг текущего состояния процессов подготовки и проведения испытаний представляется возможным сразу после развёртывания системы. Реестр испытаний изделий РКТ позволит получать данные обо всех проводимых и проведённых испытаниях, в т.ч. для возможной оптимизации существующих и вновь разрабатываемых КПО в ходе ОКР. Единый модуль безопасности позволит осуществлять сквозную аутентификацию и авторизацию

пользователей системы. Система предусматривает реализацию только базовой функциональности в готовом решении. В зависимости от предприятия, используя набор модулей возможно формирования корпоративного решения.

Применение системы ЕИТП испытательной стендовой базы на предприятии позволит создавать более качественные, конкурентоспособные изделия за счёт снижения количества дефектов и избыточных затрат ресурсов, а также повышения качества процессов проведения испытаний.

## **Показатели качества работы операторов на этапе подготовки ракеты-носителя к пуску**

Беликова А.С., Кириллин А.В.  
МАИ, г. Москва

Качество работы операторов на этапе подготовки при выполнении типовых операций на этапе предстартовой подготовки ракеты-носителя определяется системой вероятностных показателей, учитывающих многообразие и случайный характер факторов, определяющих качество работы. Система показателей качества работы каждого оператора включает в себя конкретные и обобщенные показатели. Конкретные относятся к отдельным свойствам качества работы оператора (безошибочность, точность, быстродействие) и характеризуют непопадения или появления различных типов ошибок. Обобщенные показатели относятся ко всей совокупности свойств, определяющих качество работы оператора, и характеризуют возможности непопадения или появления ошибок оператора разного типа.

Показатели относятся к конкретным операциям, выполняемым оператором, и делятся на общие, относящиеся к любым видам ошибок, и частные, относящиеся к конкретным видам ошибок. При определении показателей качества работы операторов учитывается, что качество их работы при выполнении определенной операции является функцией переменных параметров качества, составляющих векторы параметров.

Отсутствие или наличие факта ошибок оператора в действиях (при появлении ошибок – общее количество ошибок, а также количество ошибок каждого вида), можно определить как вектор параметров ошибок:

$$\vec{m}_{\text{ош}} = \{m_1, m_2, \dots, m_l\}.$$

Точность работы оператора в процессе выполнения операции выражается вектором параметров точности:

$$\vec{\alpha} = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}.$$

Временные параметры выполнения элементов операции выражаются вектором временных параметров:

$$\vec{\tau} = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n\}.$$

Безошибочности действий, точности работы, быстродействию, ошибкам при работе с оборудованием, ошибками по точности или быстродействию соответствуют определенные области возможных значений этих векторов. Например, основной показатель качества работы оператора представляет собой вероятность нахождения векторов параметров качества работы оператора в

течение определенного времени в областях, отвечающих выполнению требований по безошибочности, точности и быстродействию, т.е.

$$P_{\text{оп}}(t) = \{ \bar{m}_{\text{ош}}(t) \in E_m; \bar{\alpha}(t) \in E_\alpha; \bar{\tau}(t) \in E_\tau \},$$

где  $E_m$  - область допустимых значений вектора параметров ошибок оператора,  $E_\alpha$  - область допустимых значений вектора параметров точности для выполняемой операции,  $E_\tau$  - область допустимых значений вектора временных параметров для выполняемой операции.

Аналогично могут быть определены остальные показатели качества работы оператора.

Доклад подготовлен при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках исполнения государственного задания в сфере научной деятельности №2014/92 (тема №1636/14).

### **Экспериментальная отработка элементов теплозащитного покрытия изделий космической техники**

Бондаренко Н.В., Рыбинский Б.В.

Научный руководитель – Белкин А.А.

МАИ, г. Москва

Экспериментальная отработка элементов теплозащитного покрытия (ТЗП) изделий космической техники является важной частью процесса создания ракет космического назначения (РКН). ТЗП находит широкое применение для защиты наиболее теплонагруженных участков конструктивных элементов корпуса РКН, а именно, головного обтекателя и части хвостового отсека, снижая таким образом требования, предъявляемые к силовому каркасу изделия. С целью обеспечения высоких эксплуатационных характеристик теплозащитного материала проводится ряд экспериментов, результаты которых позволяют максимально защитить конструкцию от нагрева и уменьшить вес РКН.

Основными этапами экспериментальной отработки ТЗП, являются доводочные, предварительные и приемочные испытания. В ходе каждого, из перечисленных испытаний, проводятся ряд газодинамических нагружений. Целью проведения испытаний является подтверждение работоспособности ТЗП, а также соответствие его реальных характеристик требованиям технического задания (ТЗ) при различных режимах газодинамических нагрузок.

Наибольшее распространение в ракетной технике получила теплозащита методом разрушающихся покрытий. Согласно этому методу защищаемая конструкция покрывается слоем специального материала, часть которого под действием теплового потока может разрушиться в результате процессов плавления, испарения, сублимации и химических реакций. При этом основная часть подводимого тепла расходуется на физико-химические превращения.

Также используется метод отвода тепла теплопроводностью с использованием теплоемкости конденсированных веществ. Способность некоторых материалов легко отводить тепло от нагретых поверхностей хорошо известна и находит широкое применение. Системы с накоплением тепла являются низкотемпературными, ибо они работают при температурах ниже точки плавления поглощающего тепло материала.

Испытания ТЗП проводятся на стенде, который предназначен для газодинамических испытаний теплозащитных покрытий. В состав стенда входит: барокамера, вакуумная станция, воздушные и ламповые подогреватели, газодинамическая приставка, автоматизированная система сбора и обработки данных (АССОД).

Во время испытаний исследуется, в частности, теплозащитный материал марки ТПТ-С, нанесенный методом напыления на подложку, выполненную из материала АМГ-6, а также на стеклопластиковую подложку из материала ВПС-7В.

Изготавливается по четырнадцать образцов каждого вида. На пяти образцах отработывается отладка режима. После проведения испытаний на остальных девяти образцах из них выбирается пять зачетных образцов. В результате испытаний лакокрасочное покрытие (ЛКП) может обуглиться и разрушиться. Также верхний слой ТЗП может вспучиться, произойти его коксование и расслоение вместе с остатками ЛКП. Цвет ТПТ-С может измениться на более темный. Возможно появление поверхностных трещин по всей поверхности образцов. Отслоение ТЗП от подложки и сквозные трещины после проведения испытаний должны отсутствовать.

Таким образом, проведение экспериментальной отработки элементов ТЗП, необходимо для обеспечения высокого качества теплозащитного материала, надежно защищающего корпус РКН от внешних тепловых воздействий на атмосферном участке полета.

## **Метод оптимизации планирования испытаний ЛА**

Ворошилин А.П.

Научный руководитель – Кириллин А.В.

МАИ, г. Москва

В аэрокосмической отрасли требования к качеству изделия чрезвычайно высоки. Проверка изделия на полный спектр воздействий является слишком затратной. В проведении испытаний большую роль играют такие параметры как время и стоимостью испытаний, которые в свою очередь показывают их эффективность. Централизованное планирование всего процесса экспериментальной отработки, не обеспечивает возможности гибкого управления процессом. Поэтому необходимо определить некоторые узловые точки, обеспечивающие оптимальные свойства комплексной программы испытаний в целом и являющиеся исходными данными для более детального планирования отдельных этапов этой программы.

Для нахождения узловых точек используется метод иерархической оптимизации, основанный на анализе динамики эффективности. На основе этого метода при заданных моделях динамики эффективности для каждого уровня испытаний и общей требуемой эффективности изделия определяются оптимальные требования к эффективности для каждого уровня испытаний. При этом в качестве моделей динамики эффективности при проведении оптимизации будем использовать различные статические модели.

Иерархическая модель испытаний позволяет записать модели динамики эффективности по времени и стоимости на каждом уровне испытаний в виде

$$W_i(\tau_i) = a_i - (a_i - W_{0i}) \exp\{\theta_i \tau_i\}$$

$$W_i(\Delta C_i) = b_i - (b_i - W_{0i}) \exp\{-K_i \Delta C_i\}$$

где  $\tau_{0i} \leq \tau_i \leq \tau_{0i+1}$ ;  $\Delta C_{0i} \leq C_i \leq \Delta C_{0i+1}$ ;  $a_i, b_i$  предельные значения эффективности для  $i$ -го уровня испытаний;  $W_{0i}$  – начальное значение эффективности на  $i$ -м уровне испытаний;  $\theta_i, K_i$  – показатели роста эффективности соответственно по времени и стоимости на  $i$ -м уровне испытаний;  $\tau_{0i}, C_{0i}$  – соответственно время и стоимость к началу  $i$ -го уровня испытаний.

Пусть точность оценки приведенных параметров на всех уровнях одинакова. Тогда стоимость испытаний на каждом уровне иерархии может быть связана со временем проведения испытаний пропорциональной зависимостью:

$$\Delta C_i = \omega_i \tau_i, \quad \tau_i = \tau_i^1 n, \quad \Delta C_i = C_i^1$$

где  $\omega_i$  – коэффициент пропорциональности,  $\tau_i^1$  – время, затраченное на проведение одного испытания;  $n$  – число испытаний,  $C_i^1$  – стоимость одного испытания

Время, затраченное на проведение одного испытания, складывается из времени, необходимого на подготовку испытания, собственно испытания и анализа полученных результатов. Стоимость одного испытания складывается из затрат на амортизацию испытательного оборудования, стоимости испытуемого образца, оплаты труда обслуживающего персонала и т.д. Тогда, зависимость между показателем роста эффективности  $\theta_i$  и  $K_i$ :  $\theta_i = \omega_i K_i$ . Рассматривая 2 уровня испытаний; наземную и летную отработки можно сделать заключение.

В условиях массового производства, при  $\omega_n < \omega_n$  экономически выгодно увеличение объема летной отработки, однако общее время испытаний при этом несколько увеличивается. При испытании дорогого уникального ЛА, например космического аппарата,  $\omega_n > \omega_n$ , и основной является наземная отработка. Таким образом, знание моделей динамики эффективности позволяет наиболее целесообразно распределить время и средства между наземной и летной отработками изделий.

## **Использование и повышение характеристик тепловых датчиков на космическом аппарате**

Белкин А.А., Дрокин А.А.

Научный руководитель – Алёхин Э.Г.

МАИ, г. Москва

Рассмотрены особенности использования датчиков малых тепловых потоков (ДМТП), а так же возможности повышения точности определения тепловых потоков, воздействующих на космический аппарат (КА) в процессе его эксплуатации, посредством усовершенствования имеющихся штатных ДМТП.

Необходимость контроля тепловых потоков на борту КА обусловлена пределами теплового режима работы бортовой аппаратуры. Обеспечение постоянства теплового режима работы КА является одной из важнейших задач при его эксплуатации. Жесткие весовые и энергетические ограничения заставляют конструкторов создавать системы терморегулирования без

существенных запасов холода - или теплопроизводительности. В этих условиях даже незначительные ошибки в тепловых расчетах могут привести к тому, что тепловой режим космического аппарата не будет выдержан в пределах нормы и вызовет сбой или выход из строя элементов бортовой аппаратуры.

Поскольку в космическом пространстве отсутствует конвективный теплообмен, лучистый тепловой поток измеряют методом «тонкой стенки», датчики, работающие таким методом очень просты, так как имеют наименьшее количество элементов относительно других датчиков, основанных на иных методах, и соответственно обладают небольшой массой, что является положительным моментом при выборе датчика для установки его на космический аппарат. Например датчик ДМТП, устанавливаемый на разгонные блоки состоит из медной пластины и термометра сопротивления.

Однако известно, что поглощательная способность сильно зависит от материала, качества обработки поверхности, температуры и спектральных свойств поверхности тепловоспринимающего элемента, а также спектрального состава падающего излучения. Поэтому для улучшения метрологических характеристик датчиков потока излучения на поверхность необходимо наносить покрытие, обладающее необходимыми характеристиками: высокой стабильностью и спектральной неизбирательностью поглощательной способности. Обзор и анализ научной литературы показывает, что наиболее приемлемыми для тепловоспринимающих элементов датчиков потока являются покрытия, полученные черным хромированием или нанесением хромоникелевой шпинели. В некоторых случаях однократного применения датчика возможно использование покрытия, полученного осаждением образующейся при горении органических веществ сажи.

На основе вышесказанного считаем использование ДМТП обоснованным, а так же о наличии возможности улучшения метрологических характеристик датчика малых тепловых потоков.

## **Системный подход к планированию объемов испытаний подсистем**

Закиров Э.Р.

Научный руководитель – Кириллин А.В.

МАИ, г. Москва

В настоящий момент аэрокосмическая отрасль уделяет большое внимание методам контроля и планирования испытаний. Одной из задач планирования является сокращение количества испытаний путем системного подхода к планированию испытаний подсистем.

При проведении испытаний подсистем требования к ним определяются путем декомпозиции требований к системе в целом. При большом числе подсистем такие автономные требования настолько ужесточаются, что подтверждение их по проводимому на практике объему испытаний становится нереальным. Так, если требуемая вероятность безотказной работы изделия составляет 0,9, то при числе подсистем  $k = 10$  их надежность должна быть 0,99, а при  $k = 100$  - 0,999. Для подтверждения одной девятки с доверительной вероятностью 0,9 достаточно испытать изделие 23 раза, а уже для трех девяток - 2303 раза.

Системный подход к планированию объема испытаний подсистем позволяет избежать лавинообразного нарастания требуемых объемов испытаний. Он заключается в построении оценок и доверительных интервалов показателей эффективности системы по известным оценкам показателей эффективности подсистем а также обосновывает требования к объему испытаний.

Оценка вероятности выполнения задачи системой в целом определяется в соответствии с принятой моделью:

$$\hat{R} = \prod_{i=1}^k \hat{R}_i$$

Точностью этой оценки характеризуется  $\gamma\%$ -ным доверительным интервалом  $[R_H, R_B]$ , где  $R_H = R_H(n_{экс}, m_{экс}, \gamma)$ ,  $R_B = R_B(n_{экс}, m_{экс}, \gamma)$ , при  $n_{экс} = \min\{n_i\}$ ,  $m_{экс} = I\{n_{экс}R\}$ ,  $I$  - целая часть.

Для высоконадежных систем, при отсутствии отказов ни по одному виду подсистем ( $m_i = n_i$ ) автономных испытаниях. Тогда для изделия в целом выполняется ( $m_{экс} = n_{экс}$ ) и нижняя доверительная граница рассчитывается из соотношения

$$R_H^{n_{экс}} = 1 - \gamma$$

В этом случае легко обосновать объем испытаний, необходимый для подтверждения требований как к системе в целом, так и к отдельной ее подсистеме:

$$n_{экс} = n_i = \ln(1 - \gamma) / \ln R_3$$

Проанализируем принципиальное отличие предложенного подхода от классического задания требований к каждой подсистеме путем дробления общих требований к системе.

Пусть заданная вероятность выполнения системой поставленной перед ней задачи составляет  $R_3 = 0,9$ , а доверительная вероятность, с которой необходимо подтверждение данного требования,  $\gamma = 0,9$ . Система состоит из 10 последовательно соединенных подсистем. Традиционный путь заключается в нахождении требований  $R_{i3} = \sqrt[10]{R_3} = 0,99$  и определении объема испытаний

$$n_i = \ln(1 - \gamma) / \ln R_{i3} = 230$$

При применении предложенного системного подхода необходимый объем автономных испытаний рассчитывается исходя из требований к системе в целом и составляет  $n_i = \ln(1 - \gamma) / \ln R_3 = 23$

Применение системного подхода в планировании испытаний изделий аэрокосмической отрасли позволяет значительно сократить объем обработки, компенсируя его увеличением объема математического статистического моделирования.

## **Моделирование процесса гидравлического удара в топливных магистралах ЖРДУ**

Иванова А.П.

Научный руководитель – Качалова И.В.

МАИ, г. Москва

При течении жидкостей с большими локальными ускорениями, вызванными, обычно, срабатыванием устройств управления потоком (например, запорной арматуры) в ней могут возникать резкие изменения давления, называемые гидравлическим ударом. Гидравлический удар представляет собой колебательный процесс, характеризующийся чередованием достаточно резких повышений и понижений давления, при этом повышение давления может существенно превышать величину исходного (опорного) давления в системе.

В двигательных установках (ДУ) с жидкостным ракетным двигателем (ЖРД) гидравлический удар может возникнуть в системах питания ЖРД при закрытии топливных клапанов в процессе останова ДУ, что сопровождается возможностью разрушения ее элементов. Исследование процесса гидравлического удара проводится с целью определения геометрических и упругих характеристик компенсаторов удара, а также выяснения влияния волновых процессов в трубопроводах системы на динамические характеристики двигателя.

Математическая модель неустановившегося движения в трубах (в том числе и гидравлического удара) базируется на двух дифференциальных уравнениях – уравнении движения Навье-Стокса и уравнении неразрывности. Однако, учитывая, что дифференциальное уравнение Навье-Стокса представляет собой нелинейное уравнение в частных производных второго порядка, она может быть решена только численно. Ее аналитические решения могут быть получены для частных случаев, которые обычно сопровождаются введением ряда упрощающих допущений, обеспечивающих линеаризацию задачи. Но и в этих случаях, учитывая, что топливные системы ЖРД представляют собой сложные трубопроводы, включающие участки трубопроводов разного диаметра с различными упругими характеристиками, разветвления, коллекторы, местные сопротивления в виде клапанов, фильтров, дроссельных шайб и т.п., постановка задачи и ее решение оказываются достаточно сложными.

При изучении процессов, которые трудно рассчитать теоретически и/или экспериментально исследовать в натуральных условиях, прибегают к их моделированию. При моделировании процесса гидравлического удара, как и любого другого неустановившегося гидродинамического процесса, необходимо обеспечить для натурной и модельной систем равенство чисел Рейнольдса, Эйлера и Струхалия. Однако, учитывая, что процесс гидравлического удара является волновым, для его полного моделирования необходимо также обеспечить подобие волновых процессов, что требует соблюдения равенства чисел Эйлера и Струхалия, рассчитанных по скорости распространения фронта волны. Анализ показывает, что обеспечить равенство всех этих критериев подобия невозможно, поэтому при экспериментальной отработке ПГС ДУ с ЖРД прибегают к приближенному моделированию.

На практике часто возникает необходимость моделирования процесса гидравлического удара в пневмогидравлических системах ДУ с ЖРД по максимальному скачку давления. В этом случае модельные испытания проводят на штатных установках, заменяя топливо нетоксичной и взрывобезопасной жидкостью, например, водой. При такой постановке задачи процесс гидравлического удара можно считать автомодельным относительно критерия Рейнольдса, обеспечивая равенство максимальных скачков давления и чисел Эйлера в натурной и модельной системах. Решение полученной системы уравнений позволит определить требуемое давление наддува бака в условиях моделирования, обеспечивающее такое же гидроударное повышение давления, как на натуральных компонентах.

### **Методика расчёта на устойчивость оболочки твердотопливного ракетного двигателя**

Кальянов А.А.

Научный руководитель – Шаповалов Р.В.

МАИ, г. Москва

При конструировании оболочки ракетного двигателя на твердом топливе (РДТТ) основным критериальным параметром является предельное давление, при котором происходит механическое разрушение корпуса или потеря его устойчивости. Для того, чтобы избежать деформации и разрушения оболочки в целом, проводится целый ряд мероприятий, в числе которых создание методики расчета на устойчивость и расчет (по созданной методике) на устойчивость. При необходимости моделируют все нагрузки и проводят все расчеты с помощью современных программ (данный способ наиболее точный, так как может одновременно учитывать больший ряд требований, и самый популярный на данный момент).

Для достижения оптимального расчета на устойчивость необходимо выполнить ряд противоречивых требований.

Во-первых, необходимо идеально соблюсти все качества точности, поскольку влияние начальных несовершенств возрастает с уменьшением относительной толщины.

Во-вторых, необходимо просчитать все варианты комбинаций нагрузок на оболочку с учетом всех внешних и внутренних факторов, способных повлиять на конечные результаты расчета.

В-третьих, следует учесть вид оболочки.

В-четвертых, необходимо исследовать форму оболочки и т.д.

На основе вышеперечисленных требования создается методика для оптимального расчета оболочки двигателя твердого топлива на устойчивость.

Настоящая методика расчета оболочки двигателя твердого топлива построена, в основном, на аналитических решениях. Компьютеризация всего процесса расчетов в последнее время все сильнее создает иллюзию второстепенности и нисходящей роли аналитических решений. Однако основное преимущество аналитических методов исследований состоит в том, что они дают физическое представление, возможность параметрического прогноза и формулировки новых закономерностей.

Так как все закономерности находит человек, он может использовать их в облегчении методики расчетов, как в обычной форме, так и привести их в компьютеризированной форме, что поможет облегчить и ускорить расчеты. Также методику можно использовать при создании компьютеризированной модели конкретного сценария распределения нагрузок на оболочку.

В заключение хотелось бы добавить, важно не только уметь использовать программы типа «Computer-aided engineering» (CAE), но и использовать классические физико-математические формулы, особенно начинающим специалистам. Классическое решение поставленной задачи дает большее представление о происходящих физических процессах в исследуемом объекте, но стоит отметить, что системы автоматизации инженерных расчетов зачастую дают большую наглядность конечного результата (особенно если изделие сложное). Также следует отметить, что без понимания физической составляющей, использование CAE систем становится затруднительным и может привести к неправильным результатам.

### **Сравнительный анализ критериев проверки отклонения распределений вероятности от нормального закона**

Кириллин А.В.

Научный руководитель – Александровская Л.Н.

МАИ, г. Москва

Нормальный закон распределения вероятности случайных величин занимает центральное место как в классической математической статистике, так и в практических приложениях. Полнота теоретических исследований, относящихся к нормальному закону, а также его сравнительно простые математические свойства делают его наиболее привлекательным и удобным в применении.

Поэтому значительное место в комплексе алгоритмов обработки экспериментальных данных занимают алгоритмы проверки возможности описания полученных данных нормальным законом распределения вероятностей.

Все известные критерии проверки нормальности относятся к так называемым критериям значимости, работающими по следующему принципу: выбирается статистическая модель, описывающая экспериментальную статистику при нулевой гипотезе нормальности; выделяются области, соответствующие представлению экспериментатора о малых вероятностях (выбирается уровень значимости определяющей критическую область); при попадании экспериментальной статистики в критическую область в соответствии с принципом критической невозможности осуществления маловероятного события нулевая гипотеза отвергается, в противном случае она принимается. При этом значения уровней значимости принимаются на практике в диапазоне  $\alpha=0,05-0,1$  без какого-то теоретического обоснования.

При использовании критериев значимости для расчета их мощности необходимо задать альтернативную гипотезу. В данном случае это сопряжено с определенными трудностями: если не нормальное распределение, то какое? Нужно ли при этом перебирать все возможные распределения?

Предлагаемый ниже оригинальный подход позволяет обойти эту трудность.

Величину уровня значимости можно считать мерой согласованности экспериментальных данных с нулевой гипотезой: при уменьшении уровня значимости  $\alpha \rightarrow 0$  расширяется область её отвержения; при увеличении  $\alpha$  наблюдается обратная картина. Учитывая также, что уменьшение уровня значимости приводит к снижению мощности при любой альтернативной гипотезе, предлагается следующий подход к сравнению критериев проверки нормальности. Уровень значимости не задаётся заранее, а в процессе расчетов определяется его критическое значение, при котором еще может быть принята нулевая частота. В зависимости от величины этого критического значения все исследуемые критерии располагаются по степени их предпочтения.

При проведении работы рассматривались следующие критерии: группа параметрических критериев Гири, Романовского, Крамера; группа критериев, основанных на сравнении параметрических характеристик оценки нормального распределения и непараметрических оценок, использующих порядковые статистики, критерии и Шапиро-Уилка, Шапиро-Франчия, Дэвида-Хартли-Пирсон; группа критериев, основанных на сравнении функций нормального и эмпирического распределений: критерии Фросини и Хегази-Грина.

В ходе работы исследовались десять выборок объема  $n=20$  из стандартного нормального распределения. В результате проведенных исследований было сформировано ранжирование основных рассмотренных критериев проверки на нормальность.

### **Концепция неопределённости в метрологическом обеспечении испытаний**

Колтуновская М.С.

Научный руководитель – Александровская Л.Н.

МАИ, г. Москва

Современное понимание измерений существенно шире только количественных измерений: измерение определено как алгоритмическая операция, которая данному наблюдаемому состоянию объекта ставит в соответствие определенное обозначение - жало, номер или символ.

Таким образом, потребовалось расширение точностных характеристик измерений.

В связи с этим в 1997 году Объединенный комитет по Руководствам в метрологии (ОК РМ, JCGM) разработал серию документов по выражению неопределённости в измерениях.

Оценка неопределенности измерений базируется на следующих основных положениях: измеряемая величина представляется в виде плотности распределения вероятности; в качестве оптимальной оценки принимается математическое опоздание; средне-квадратическое отклонение рассматривается, как стандартная неопределенность; плотность распределения вероятности может быть построена на основе повторных измерений, а также расчетных методов, основанных на использовании всей доступной информации.

Отличительными положениями концепции неопределенности являются: отказ от использования понятий «погрешность» и «истинное значение» в пользу понятий «неопределённость» и «измеренное значение»; переход от

классификации погрешностей «случайные» - «систематические» на полученные путем обработки методами математической статистики и другими способами получения информации (например, экспертной) результаты измерений.

В таблице 1 сопоставлены некоторые традиционные термины и термины, введенные концепцией неопределенности.

Таблица 1

Традиционные термины	Новые термины
Допуск	Допустимые пределы,
Доверительная вероятность	допустимый интервал
Доверительный интервал	Пределы принятия соответствия
Квантиль распределения	Вероятность охвата
Средне-квадратическое отклонение $\delta_0$	Интервал Охвата
Величина погрешности $U\delta_0$	Коэффициент охвата
Условный риск	Стандартная неопределенность
производителя/потребителя	Расширенная неопределённость
Средний риск	Частный риск
Принятие решения о соответствии при	Глобальный риск
нахождении измеряемого параметра в	Простое принятие или
допуске	разделённый риск

Необходимость оценки неопределенности измерений возникает в случаях: в связи с вступлением в ВТО; для продукции, предназначенной для эксперта; по требованию органа по аккредитации на основе международных стандартов.

В перспективе роль неопределенности измерений будет возрастать, в связи с более широким использованием экспертных оценок, интервального оценивания и пр.

## Расчётная тепловая модель инфракрасного излучателя

Куликов Д.С.

Научный руководитель – Бирюк В.В.

АО «РКЦ «ПРОГРЕСС», СГАУ им. Акад. С.П. Королёва, г. Самара

Имитатор инфракрасного излучения (ИИКИ) является составной частью наземного оборудования для проведения тепловакуумных испытаний системы обеспечения теплового режима космических аппаратов. Его назначение – обеспечить пространственно-временное распределение плотности теплового потока на поверхности объекта испытаний по заданным программам. ИИКИ состоит из набора излучателей, размещённых вокруг объекта испытаний.

Чтобы воспроизвести заданное пространственно-временное распределение плотности теплового потока на поверхности объекта испытаний в процесс эксперимента вводятся дополнительные режимы тарировки. В ходе тарировки определяются величины электрической мощности, которую необходимо подать на каждый единичный излучатель.

Такой подход является энергетическим и ресурсозатратным.

С целью снижения энергозатрат и последующего исключения данных режимов при будущих тепловакуумных испытаниях космических аппаратов была разработана геометрическая и тепловая модель инфракрасного излучателя, состоящего из галогенной лампы с уголкового отражателем. Средой создания

модели является модуль Thermal программного комплекса SiemensNX. Предварительно определена эффективная площадь поверхности тела накала на основании информации о номинальной мощности лампы и её цветовой температуре.

На данной модели исследованы характеристики излучателя:

- температура тела накала в зависимости от подаваемой электрической мощности на галогенную лампу;
- пространственное распределение и интенсивность излучения (в том числе в концевых зонах) при электрических мощностях, отличающихся от номинальной;

Для оценки адекватности тепловой модели проведён ряд экспериментов по определению диаграммы направленности инфракрасного излучения. На определённом расстоянии от излучателя была расположена контрольная плоскость, оснащённая теплоприёмниками суммарного теплового потока ФОА-020. Результаты экспериментов и математического моделирования показали достаточно хорошую сходимость.

Верифицированная тепловая модель единичного инфракрасного излучателя может использоваться для построения комплексных тепловых моделей имитаторов инфракрасного излучения, разрабатываемых под конкретный объект испытаний.

Помимо решения основной задачи по замене режимов тарировки математическим моделированием комплексная тепловая модель ИИКИ позволяет:

- оценивать степень экранирования конструкцией имитатора ИКИ теплового потока, излучаемого объектом испытаний, в направлении азотных экранов внутри тепловакуумной камеры;
- определять неравномерность плотности теплового потока, создаваемую имитатором.

Решена важная научно-техническая задача, позволяющая оптимизировать процесс проведения тепловакуумных испытаний космических аппаратов. Подход, описанный в представленной работе, может быть в принципе применён при испытаниях, где используются другие виды инфракрасных излучателей, например, керамические или сетчатые.

## **Применение пневмотолкателей для усовершенствования системы разделения последней ступени ракеты-носителя и разгонного блока**

Белкин А.А., Куценко Г.А.

Научный руководитель – Бизяев Р.В.

МАИ, г. Москва

В процессе полета ракеты-носителя, построенной по тендемной схеме в целях уменьшения ее полетной массы, проводится сбрасывание отработавшей ступени, которая на дальнейшем участке полете не используется. В систему разделения входят множество элементов разрывающие механические связи, например, пирозамки, захваты разрыва механической связи, пироболты, и элементы разведения, такие как тормозные двигатели, бугеля, направляющие.

Длительное время разделение последней ступени ракеты-носителя (РН) от разгонного блока (РБ) осуществлялась с использованием твердотопливных тормозных двигателей (ТТД). Вектор тяги ТТД, установленных на отработавшей ступени направлен в сторону КА не защищенного головным обтекателем, сброс которого производится сразу после прохождения РН атмосферного участка полета. При работе ТТД для обеспечения траектории увода отработавшей ступени от РБ не исключена возможность попадания частиц сгоревшего топлива на оптические системы КА, что является недопустимым.

Для исключения этого эффекта было принято решение вместо ТТД спроектировать и использовать специализированные пневмотолкатели, которые должны обеспечить надежное и быстрое разделение последней ступени РН с РБ, исключая негативные последствия влияния ТТД на КА.

Причиной использования традиционной «холодной» схемы разделения является достаточно плавный увод отделяемой ступени от РБ. При «холодном» разделении отделение отработавшей части РН под действием тяги начинают работать ТТД после выключения маршевых двигателей отработавшей ступени и раскрытия замков связи. Импульс тяги двигателей разделения зависит от массы отделяемой части КА. Это объясняется тем, что в процессе разделения ступеней на участке отвода отработавшего блока возможен неуправляемый полет последующей ступени при воздействии на нее начального возмущения, устраняемого в дальнейшем (после включения ее двигателя) системой управления. Наличие неуправляемого полета является одной из характерных особенностей «холодного» разделения ступеней.

Перспективным вариантом разделения ступеней во время полета для устранения недостатков «холодной» схемы разделения является применение пневмотолкателей вместо тормозных двигателей.

Основной частью механизма пневмотолкателей является цилиндр с поршнем, совершающим одностороннее прямолинейное перемещение под действием сжатого газа высокого давления. В соответствии с циклограммой полета происходит подрыв пирозамков РБ лишается механической связи с РН. После этого срабатывает пневмотолкатели разделяет РН и РБ.

Для обеспечения высокой надежности пневмотолкателей необходимо проведение автономных испытаний системы разделения с установленными на изделие пневмотолкателями. Проведение испытаний СР осуществляется на стенде разделения.

Использование пневмотолкателей в системе разделения полностью исключает вероятность попадания частиц сгоревшего топлива на оптические системы КА. Так как в пневмотолкателях отсутствует горючие вещества.

## **Логическая структура базы данных для хранения результатов экспериментов**

Лапкина В.А.

Научный руководитель – Перванюк А.С.

МАИ, г. Москва

В настоящий момент большое распространение на предприятиях РКТ получили различные автоматизированные системы. В частности при проведении

испытаний используются автоматизированные системы сбора и обработки информации, неотъемлемыми элементами которых являются базы данных. С учетом специфики отдельно взятых предприятий базы данных проектируются и реализуются по-разному и являются уникальными для узкого набора данных, отслеживаемых при проведении испытаний. Такие базы данных могут быть разработаны на основе различных моделей данных и иметь как простую структуру так и более сложную. Расширение и модернизация таких баз данных является трудной, а в ряде случаев невозможной. Для снижения нагрузки на базу данных и упрощение ее модернизации и дальнейшего развития удобнее использовать более универсальную структуру для хранения данных результатов эксперимента.

На данный момент самыми распространёнными являются реляционные базы данных, основанные на реляционной модели данных, и, соответственно, системы управления реляционными базами данных (СУБД), такие как MSSQLServer, Access, Oracle, PostgreSQL и т.д. СУБД подразумевают использование связей между данными для предоставления результатов на сложные запросы. Для того, чтобы создать наиболее общую структуру необходимо провести наиболее общий анализ предметной области и выделить соответствующие сущности и атрибуты: □

- Эксперимент: название эксперимента, идентификационный номер эксперимента, описание эксперимента (краткие сведения), дата и время начала;
- Измерительный канал: идентификационный номер эксперимента, идентификационный номер эксперимента, измеряемый параметр, комментарии (примечания), дата и время начала сбора информации по каналу;
- Данные измерительных каналов: идентификационный номер измерительного канала, дата и время каждого измеренного значения параметра, минимальное и максимальное значение измерения.

Такого набора сущностей вполне достаточно для того, чтобы хранить данные экспериментов со всех объектов испытаний. Построенную на основе анализа реляционную базу данных легче масштабировать и использовать при подключении различных дополнительных систем или модулей для сбора или обработки информации. Такая структура подойдет не только для обработки информации в после сеансе, но и для просмотра в режиме реального времени. Для допуска к информации, хранящейся в базе данных достаточно использовать политику ролей и паролей пользователей, предусмотренной СУБД, поэтому достаточно всего две роли: роль, в которой все пользователи могут обладать правами администратора, а именно иметь возможность удалять данные помимо просмотра; роль, в которой пользователи могут только получить и просмотреть данные результатов экспериментов. Таким образом, происходит ограничение доступа к данным, а пользователи могут использовать функционал, соответствующий с назначенной им ролью.

## Формирование комплексного показателя надёжности дежурного расчёта при подготовке ракеты-носителя к пуску

Марков А.В., Кириллин А.В.

МАИ, г. Москва

Дежурный расчет представляет собой коллектив операторов, выполняющих в тесном взаимодействии работы, определенные программной предстартовой подготовки ракеты-носителя (РН). При этом каждый из операторов выполняет свои конкретные, определенные программной и технологией, задачи при контроле, поддержке и помощи остальных членов дежурного расчета.

При комплексном анализе надежности, оператор рассматривается как специфический многофункциональный и многорежимный элемент в эрготехнической системе. В соответствии с теорией надежности, надежность оператора может характеризоваться его состоянием. Как и любой другой элемент системы, оператор может находиться в работоспособном или неработоспособном состоянии. В то же время, оператор, находясь в работоспособном состоянии, может выполнять в процессе работы свои функции с определенным качеством, изменяющимся в весьма широких пределах.

Надежность человека-оператора – это совокупность свойств, обеспечивающих возможности выполнения им заданных функций при работе в составе расчета, и составе системы в целом, в расчетных условиях работы.

Основными составляющими показателями надежности оператора являются показатели безотказности и долговечности (стойкости).

Показатель безотказности операторов за период времени  $t$  определяется как

$$P_{\text{оп}}(t) = 1 - \left\{ \sum_{\mu \in S} Z_{\mu\text{оп}}(t) + \sum_{\mu \in S} R_{\mu\text{оп}}(t) \right\},$$

где  $S$  - множество возможных отказов;  $Z_{\mu\text{оп}}(t)$  - вероятность неопасных отказов за время  $t$ ;  $R_{\mu\text{оп}}(t)$  - вероятность опасных отказов за время  $t$ .

Показатель долговечности операторов за период времени  $t$  определяется как

$$P_{\text{пр.эж}}(t) = 1 - \left\{ \sum_{\mu \in S_{\text{пр}}} \int_0^t \prod_{i=1}^{m_{\text{ж}}} P_{\text{пр},i\text{оп}}(\tau) dZ_{\text{пр},j\text{оп}}(\tau) + \sum_{\mu \in S_{\text{пр}}} \int_0^t \prod_{i=1}^{m_{\text{ж}}} P_{\text{пр},i\text{оп}}(\tau) dR_{\text{пр},j\text{оп}}(\tau) \right\},$$

где  $Z_{\text{пр},j,\text{оп}}(\tau)$  - вероятность достижения неопасного  $i$ -го предельного состояния  $j$ -м оператором за время работы  $\tau$ ;  $R_{\text{пр},j,\text{оп}}(\tau)$  - вероятность достижения опасного  $i$ -го предельного состояния  $j$ -м оператором за время работы  $\tau$ ;  $m_{\text{ж}}$  - число операторов;  $S_{\text{пр}}$  - множество возможных предельных состояний оператора.

Объединяя эти параметры имеем расчетный показатель надежности дежурного расчета  $P_{\text{расч}}(t)$ :

$$P_{\text{расч}}(t) = \omega_1 \cdot \prod_{j=1}^{m_{\text{ж}}} P_{\text{оп},j}(t) + \omega_2 \cdot P_{\text{пр.эж}}(t),$$

где  $\omega_1, \omega_2$  - веса критериев безотказности и долговечности (стойкости)

Таким образом, при исследовании деятельности состава дежурного расчета мы получили количественную характеристику надежности, которая может быть применена в процессе определения надежности РН на этапе предстартовой подготовки в целом.

Доклад подготовлен при финансовой поддержки Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках исполнения государственного задания в сфере научной деятельности №2014/92 (тема №1636/14)

## **Современные проблемы технической эксплуатации воздушных судов**

Мартыросова К.И., Морозова А.А.

Научный руководитель – Карапетян Т.С.

МАИ, г. Москва

Проблема эксплуатации воздушных судов является одной из важнейших проблем в области воздушного транспорта. В целом, техническая эксплуатация самолетов в научном плане является еще мало изученной областью человеческой деятельности.

Состояние парка воздушных судов - один из важнейших факторов безопасности полетов. В настоящее время сокращение парка воздушных судов интегрировалось в самую актуальную проблему в развитии безопасности региональных перевозок. На 2015 год, отечественный парк воздушных судов насчитывает 2200 самолетов и 1190 вертолетов.

В процессе жизненного цикла самолета, начиная с этапов его создания и до момента списания, важное значение имеет его техническая эксплуатация, реализуемая в системе технического обслуживания и ремонта.

Техническое обслуживание и ремонт представляют собой комплексы работ, выполняемых на самолете и имеющих своей целью:

- непосредственную подготовку самолета к полетам и обеспечение его сохранности между полетами;
- поддержание и восстановление в течение жизненного цикла надежности самолета и его систем;
- обеспечение и поддержание заданного уровня долговечности конструкции самолета (ресурса до списания самолета в целом и составных его частей).

Одним из важнейших факторов, от которых зависит эксплуатационно-технические характеристики самолета, является контроль технического состояния, профилактические работы, направленные на поддержание работоспособного состояния как конструкции самолета в целом, так и отдельных его агрегатов, а также восстановительные работы.

Не менее важная задача при осуществлении технического обслуживания и ремонта – это обеспечение сохранности самолета на стоянке в перерывах между полетами.

В данной работе проанализировано состояние парка воздушных судов гражданской авиации, выделены основные этапы развития технической эксплуатации, перспективные задачи ее реформирования, раскрыты основные параметры применения и характеристики технического обслуживания и ремонта самолетов гражданской авиации. А так же рассмотрено как вовремя проведенные плановые профилактические операции технического обслуживания прерывают процессы дальнейшего развития многих

повреждений, не давая им возможности перерасти в опасные повреждения и затем в отказы.

## **Поиск локальных дефектов в оптически прозрачных элементах конструкции воздушных судов**

Вольф Е.И., Роменский Н.А.

Научный руководитель – Вольф И.Э.

ВУНЦ «ВВС ВВА», г. Воронеж

Одними из наиболее сложных для дефектоскопии элементов остекления самолетов являются изделия из прозрачных полимеров типа органического стекла. Подобные изделия имеют сложную форму и большие габариты, например, фонарь кабины пилота на самолетах. Характерный для такого материала дефект – т.н. «серебро» - ансамбли внутренних дефектов, имеющих малые размеры и визуально наблюдаемые напросвет как помутнение отдельных участков. Исследуемый дефект остекления типа «серебро» является фазовой неоднородностью с высокой оптической плотностью (по показателю преломления), контрастностью близкой к нулевому значению, имеющей границы и распространяющейся во всех направлениях диагностируемого элемента остекления.

Элементы остекления имеют некоторую площадь сложной не плоскопараллельной формы, поэтому поиск дефекта осуществляется путем последовательного голографического просмотра отдельных элементов, в сумме составляющих полную поверхность элемента остекления. Для охвата всей осматриваемой площади необходима организация привязки аппаратуры обнаружения к элементу диагностики, как минимум по 4-м позициям, находящимся на элементах крепления остекления к корпусу воздушного судна. Последовательное перемещение устройства для записи необходимо выполнить в виде направляющих с электроприводом, учитывающим пошаговое смещение с учетом координат управляемое с ПЭВМ. Кроме того необходимо предусмотреть зону перекрытия записываемых голограмм в пределах 10 – 15 %. Это позволит избежать пропуска зон сканирования. Процесс такого поиска может быть представлен в виде простой Марковской цепи, количество состояний которой совпадает с числом просматриваемых элементов остекления, а переход из предыдущего состояния в последующее осуществляется при условии обнаружения дефекта в рассматриваемом элементе [1].

В количественной форме проверка нулевой гипотезы включает в себя оценку параметров включающих предварительные условия, исходные данные и допущения, а также данные пороговых значений, позволяющие сделать вывод о дальнейшей эксплуатации элемента остекления воздушного судна. Учитывая, что процесс развития дефекта «серебро» до минимально заметных размеров и далее до критических значений зависит от многих факторов учитывающих интенсивность полета воздушного судна и эксплуатации его на максимальных режимах, значительно превышает межрегламентный период обслуживания воздушного судна. Таким образом, в предусмотренный регламентом обслуживания период необходимо проводить диагностику элементов остекления, с целью обнаружения вновь образовавшихся дефектов.

## Список литературы

Вольф И.Э., Малов А.Н. Автоматизированная система контроля состояния элементов остекления воздушных судов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 14, № 4(2). – Самара: СНЦ РАН, 2012. – с. 592-596.

### **Стендовые испытания системы бортового наддува при работе с криогенными компонентами топлива**

Рудневская Е.В.

Научные руководители – Морозов В.А., Алахин Э.Г.

ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», г. Москва

В докладе рассмотрена последовательность испытаний одной из основных систем изделий ракетно-космической техники (РКТ) – системы бортового наддува, а также особенности её отработки в наземных условиях. Процесс наземной-стендовой отработки (НСО) пневмо-гидравлической системы (ПГС) подачи топлива в двигательную установку (ДУ) изделий ракетно-космической техники (РКТ) предполагает последовательное проведение нескольких этапов испытаний составных частей ракет-носителей.

Отработка системы наддува на начальном этапе проводится на имитаторах компонентов топлива (ИКТ), а последующие этапы – на натуральных компонентах.

Испытания на первом этапе проводятся с помощью стендовых элементов системы наддува (СН). В качестве источника наддува используется штатный газ наддува – гелий, размещенный в штатном шаробаллоне. Для обеспечения безопасности, в качестве имитатора криогенного компонента – кислорода, был использован близкий к нему по температуре ожигения нейтральный продукт – жидкий азот. В стендовом термостате размещен шаробаллон с гелием, который в штатном варианте находится в баке с жидким кислородом.

С целью обеспечения необходимого количества газа наддува, предварительно должен быть проведен расчет параметров «горячего» наддува топливных баков гелием. При этом в качестве ИКТ применяется обессоленная вода по ГОСТ 92-0908-90.

Второй этап отработки системы наддува – это «холодные» стендовые испытания (ХСИ). На данном этапе используется штатный компонент топлива – жидкий кислород, в бак с которым помещается шаробаллон системы наддува. Алгоритм системы наддува аналогичен применяющемуся на первом этапе.

Точность воспроизведения условий испытаний на первом и втором этапах не совпадает. Имеется различие в количестве потраченного гелия при одном и том же времени работы испытываемого изделия, при этом система поддержания требуемых давлений примерно одинаковая. Поэтому влияние этих отличий должно сказаться через сравнение затраченного количества газа с учетом грубых отклонений имитаций целей экспериментов.

Заключительный этап отработки СН – это «огневые» стендовые испытания. Они включают проверку работоспособности системы горячего наддува в составе «огневого» стендового изделия, максимально приближенного к штатному (летному).

Существенное отличие от ХСИ – теплообменник штатный, входит в состав двигателя.

Особое внимание здесь уделяется процессам изменения параметров в газовой подушке бака при запуске двигателя и на установившемся режиме в связи с работой штатного теплообменника в составе двигателя.

Для сравнения полученных характеристик при ОСИ и ХСИ необходимо сравнить сначала условия работы системы наддува, а именно – достартовые расходы компонента, расходы компонента на установившихся режимах и т.д. Для обеспечения сравнения необходимо привести эти два этапа к одинаковым условиям и после этого осуществить сравнение по затраченному количеству газа наддува на этих двух этапах, чем показать влияние штатного теплообменника на характеристики наддува и в конечном счете на параметры газа в баке.

Приведенная выше последовательность отработки системы бортового наддува в представленном виде может позволить увеличить качество и надежность работы ПГС РН и быть использована при НСО перспективных изделий РКТ.

## **Сравнительный анализ тарированных опор для перспективной ракеты космического назначения**

Соболев А.А.

Научный руководитель – Бут А.Б.  
МАИ, ФГУП «ЦЭНКИ», г. Москва

В связи с появлением проработок по перспективным ракетам космического назначения с более мощными двигателями, большей массой и увеличенными габаритами космической головной части ракеты, возникает необходимость пересмотра процесса транспортировки и укладки ракеты космического назначения на транспортно-установочный агрегат. В частности, модернизации тарированной опоры для создания необходимого подпора космической головной части.

Для модернизации тарированной опоры, необходимо изучение уже имеющих вариантов исполнения.

В процессе работы проведено изучение конструкции и принципа работ тарированных опор, которые уже применялись для транспортировки ракет.

В результате исследования были выявлены следующие недостатки:

- При применении тарированной опоры грузового типа возникает большое внешнее давление на стрелу транспортно-установочного агрегата, это приводит к изгибу и деформации стрелы;
- При применении пневматической системы возникает угроза жизни и здоровью обслуживающего персонала, исходя из-за работы с высоким давлением (50-200 атм.);
- При использовании пневматического цилиндра есть вероятность повреждения космической головной части ракеты, в связи с недостаточной плавностью выдвижения штока цилиндра;
- При применении тарированной опоры грузового типа возникает большой риск неисправностей, вследствие большого количества подвижных элементов.

Для устранения данных недостатков применим вариант перехода к гидравлической системе, что позволит упростить конструкцию, снизить массу,

придать плавность движения тарированной опоры и сохранить необходимое усилие подпора на космическую головную часть ракеты. Данная тарированная опора позволит уменьшить изгибающий момент стрелы.

В зависимости от габаритов ракеты космического назначения, для ее транспортирования используются съемные ложементы. При этом тарированная опора предварительно переставляется и закрепляется в верхней части стрелы для обеспечения стыковки с ложементом.

В дальнейшем данная работа может быть применена для рассмотрения принципиальных решений по конструкции тарированной опоры, применения новых технологий и актуальных материалов изготовления изделий.

### **Решение задач проектирования транспортно-установочного оборудования для перспективной ракеты космического назначения** Соколова Н.Ю.

Научный руководитель – Торпачев А.В.  
МАИ, ФГУП «ЦЭНКИ», г. Москва

Современный этап развития общества характеризуется бурным ускорением научно-технического прогресса и, как следствие, значительным усложнением различных технических устройств, используемых во всех сферах человеческой деятельности. Все возрастающие затраты материальных, финансовых и людских ресурсов требуются для создания и эксплуатации современных видов техники. Особенно это относится к оборудованию ракетно-космической техники, как одной из наиболее наукоемких отраслей.

Подготовка к запуску ракеты космического назначения представляет собой совокупность множества технологических операций. При этом в процессе создания ракетно-космического комплекса (РКК) и при проработке технологии подготовки ракеты космического назначения (РКН) к пуску приходится решать множество инженерных задач. Одной из таких задач является транспортировка РКН с технического комплекса на стартовый комплекс. Анализируя ранее созданные комплексы, как отечественные, так и зарубежные, можно увидеть различные варианты решения этой задачи.

Несмотря на кажущуюся схожесть многих рассмотренных вариантов, каждый из них по-своему уникален, что определяется особенностями РКН, технологией ее подготовки и идеологией РКК.

Одной из насущных проблем при решении задачи транспортировки РКН с технического комплекса на стартовый комплекс является обеспечение поперечной устойчивости транспортного агрегата с РКН. В настоящей научно-исследовательской работе исследован один из возможных вариантов решения этой задачи, а именно транспортно-установочное оборудование на самоходных транспортных пневмоколесных агрегатах для перспективного РКК.

В ходе выполнения исследований были определены цели и технические решения по разработке транспортно-установочного оборудования для обеспечения работ с перспективной РКН. При этом были рассмотрены назначение, состав, технические характеристики, описание конструкции, технология работ в РКК. Также в процессе выполнения работы получены значения ветровых нагрузок и проведен тяговый расчет.

Конечной целью выполнения работы является разработка материалов эскизного проекта транспортно-установочного оборудования для перспективной РКН.

## **Исследование процессов стратификации жидкости в топливных малоразмерных баках с имитирующим криогенный продукт ( $N_2$ )**

Строганов И.О.

Научный руководитель – Петрашев В.А.

МАИ, г. Москва

В данной работе рассмотрен стенд для испытаний малоразмерного бака с имитирующим криогенным продуктом ( $N_2$ ). Описан принцип действия испытательского стенда, описаны все составляющие элементы системы и их назначение. Цель этого стенда изучение процесса стратификации криогенного продукта и нахождение наиболее оптимального решения по уменьшению воздействия стратификации на температурные поля в криогенных сосудах.

Стратификация –расслоение температурного поля криогенного продукта, возникающие в топливных баках с закрытым дренажем.

На стенде бак соединен с заправочной трубкой танка посредством раздаточного рукава, по которому в бак подавался жидкий азот перед проведением эксперимента, и сливался в танк жидкий азот, оставшийся в баке после проведения эксперимента.

На стенде применялась ручная система управления. Она была смонтирована в виде пульта управления, содержащего два вентиля, регулировавшие сообщение внутреннего объема бака с внешней средой через дренажную магистраль и ротаметры. На пульте установлен автотрансформатор, управляющий мощностью нагревателей бака путем изменения питающего их напряжения.

Управление процессами с жидким азотом осуществлялось не только с помощью пульта, но и посредством вентиля управления на днище танка. При этом использовались 3 вентиля

- вентиль подачи жидкости в испаритель;
- вентиль газосброса из рукава;
- вентиль выдачи и приема жидкого азота по рукаву.

Измерительная система стенда включала датчики температуры, давления и расхода. Информация от этой системы поступала на ПК.

На измерительной гребенке установлен более точный датчик температуры - термометр сопротивления. Электропитание датчика осуществлялось напряжением 3 В от выпрямителя-стабилизатора.

Давление в баках и в дренажной системе определялось по манометрам, к которым оно подводилось по пневмометрическим трубкам. Расход паров азота по дренажной магистрали определялся с помощью ротаметров. Мощность электронагревателей бака определялась по ваттметру. Кроме указанных показывающих приборов на пульте управления, установлен предохранительный клапан. Он включен в пневматическую магистраль параллельно с манометром и датчиком давления и предназначен для защиты бака от разрушения при выходе из строя указанных манометров и датчика давления или при ошибке оператора.

Основные технические характеристики этого клапана: давление начала открытия - 3,2 ата; давление полного открытия - 3,65 ата;

Анализ схемы данного стенда показал, что требуется усовершенствовать систему дренажа. Предложено заменить упомянутые ротаметры ультразвуковыми расходомерами GS868

## **Разработка наземного оборудования для сборки солнечных батарей космического аппарата**

Толоконников Д.В.

Научный руководитель – Торпачев А.В.

МАИ, г. Москва

Космические аппараты связи, находящиеся на геостационарной орбите, давно стали неотъемлемой частью инфраструктуры связи во всех странах мира. Геостационарными спутниками связи решается широчайший спектр телекоммуникационных задач: телевидение, радиовещание, обеспечение выхода в Интернет, создание корпоративных компьютерных сетей и не только.

Зона охвата геостационарных спутников ограничена максимальной широтой – около 70 градусов. Однако практически все население Земли находится в более низких широтах, что позволяет широко использовать геостационарные орбиты для связи.

Солнечные батареи современного геостационарного спутника связи характеризуются большой вырабатываемой мощностью и длительными сроками эксплуатации. Большая выходная мощность нужна для обеспечения работы целевой аппаратуры с большим, либо вообще круглосуточным сеансом связи.

Большая мощность напрямую влияет на площадь, а, следовательно, на массу солнечных батарей. Поэтому солнечные батареи спутников связи конструируются так, чтобы обеспечить максимальную энергоотдачу с единицы поверхности. Для этого солнечные батареи непрерывно ориентируются на Солнце.

В ходе выполнения научных исследований разрабатываются солнечные батареи для проектируемого космического аппарата, состоящие из двух крыльев, в каждом из которых зигзагообразно в линию соединены по три панели. Панели выполняются в виде трехслойных конструкций с сотовым наполнителем из углепластика. Размер панелей без межпанельных шарнирных узлов и приводов раскрытия составляет 2 м × 2,48 м. Панели соединяются длинными сторонами.

При выполнении научно-исследовательской работы были решены следующие задачи, решение которых отличается новизной и оригинальностью:

- определена конструкция и компоновка солнечных батарей;
- произведены расчеты для действующих нагрузок и расчетных случаев нагружения;
- произведен расчет сотовых панелей солнечных батарей.

Также проработаны мероприятия по обеспечению промышленной безопасности, в рамках которых решены следующие вопросы:

- определены требования чистоты работы с космическими аппаратами в зале;

- выработан метод защиты при работе с космическими аппаратами;
- проведены расчеты по необходимой освещенности рабочей зоны.

Для технико-экономического обоснования предлагаемых решений выполнено прогнозирование себестоимости проектируемого космического аппарата и его цены.

## **Сравнительное исследование различных способов транспортировки и установки на пусковой стол перспективных ракет космического назначения**

Толстов С.В.

Научный руководитель – Бут А.Б.  
МАИ, ФГУП «ЦЭНКИ», г. Москва

В связи с появлением проработок по перспективным ракетам космического назначения, создаваемым на базе ракеты-носителя тяжелого класса с дополнительными ступенями, увеличенными габаритами головных частей и большей массой, возникает необходимость анализа процесса транспортировки и установки на пусковой стол ракеты космического назначения с целью выбора наиболее оптимального варианта.

Для определения возможных вариантов оптимизации транспортирования и установки на пусковой стол перспективных ракет космического назначения необходимо исследование уже имеющихся вариантов исполнения.

С этой целью проведено исследование конструкции и принципов функционирования транспортно-установочного агрегата, который уже используется при транспортировке и вертикализации ракет космического назначения. Определены основные параметры модернизации транспортно-установочного агрегата, которые необходимо реализовать для обеспечения возможности транспортировки и установки перспективных ракет космического назначения на пусковой стол. В результате проведенных работ выявлены следующие существенные недостатки используемого в настоящее время метода:

- для транспортировки рассматриваемой ракеты космического назначения характерна существенно увеличенная длина стрелы, вследствие чего возникают прогибы стрелы в процессе подъема;
- увеличенные габариты и масса ракеты космического назначения неизменно влекут за собой увеличение массы транспортно-установочного агрегата, вследствие чего возникают нагрузки, превышающие максимально допустимую нагрузку на железнодорожный путь;
- повышается ось ракеты относительно железнодорожных путей при транспортировке, что ведет к дополнительному увеличению наветренной площади, вследствие чего уменьшается устойчивость положения на железнодорожном пути транспортно-установочного агрегата с ракетой космического назначения при действии поперечных ветровых и инерционных нагрузок.

Для транспортирования и установки на пусковой стол ракет космического назначения предлагается вариант транспортно-установочной тележки с подъемно-установочным агрегатом. Этот метод предполагает решение проблем, появляющихся при использовании транспортно-установочного агрегата, но он

имеет недостатки по надежности применения данного метода, а также повышенную стоимость создания и обслуживания агрегатов, необходимых для транспортировки и вертикализации ракеты.

На основании сформированных характеристик и особенностей каждого метода транспортировки и вертикализации ракеты, а также для получения данных о конструкции технологии работы, проведен анализ вариантов исполнения, сформирован эскизный чертеж наиболее предпочтительного метода транспортировки и установки на пусковой стол перспективной ракеты космического назначения.

В дальнейшем данная работа может быть применена для рассмотрения принципиальных решений и конструкций, необходимых для транспортировки и установки на пусковой стол ракет космического назначения, применения новых технологий и улучшения технико-экономических показателей.

### **Анализ текущего состояния и подходов к модернизации испытательной стендовой базы предприятий ракетно-космической техники в современных условиях**

Тутов М.А., Шишкин В.А.

Научный руководитель – Иосифов П.А.

МАИ, г. Москва

Развитие ракетно-космической техники (РКТ), появление новых технологий в ее производстве, развитие информационных технологий и автоматизации, систем сбора и обработки информации создают предпосылки к проведению комплексной модернизации испытательной базы предприятий РКТ. Особенность проведения такой модернизации состоит в том, что она происходит в условиях ограниченности ресурсов, в первую очередь финансовых, повышения требований к экологичности и импортозамещению.

Стендовая база многих предприятий отрасли изношена и морально устарела, особенно это касается систем измерения и управления, механических и пневмо-гидравлических систем, систем энергоснабжения. В большинстве случаев в испытательных подразделениях отсутствуют информационные хранилища результатов испытаний, применяемые системы автоматизации измерений и управления стендов несут, как правило, локальный характер и имеют разные форматы регистрируемых данных.

В условиях недостаточного финансирования процессы модернизации испытательных баз, проводились, как правило, спонтанно, без учета стратегического развития стендовой базы под новые образцы РКТ.

Выходом из сложившейся ситуации является создание распределенной испытательной базы в рамках корпораций или отрасли лабораторно-стендового оборудования отдельного предприятия. Для этого необходимо создание и оперативное ведение отраслевого (корпоративного) реестра лабораторно-стендового оборудования с учетом его работоспособности. Особенно это касается уникальных испытательных установок, стендов и комплексов. Обеспечение доступа к данной информации специалистов предприятий отрасли позволит повысить эффективность использования имеющихся ресурсов, а также сформировать стратегию модернизации с учетом направлений развития изделий

РКТ. Тогда, при проведении работ по модернизации лабораторно-стендовой базы, станет возможным учитывать не только текущие потребности в проведении испытаний, но и закладывать некоторую избыточность на развивающийся класс объектов.

Наряду с техническим перевооружением и применением локальных компьютеризированных систем измерения и управления, особое внимание должно уделяться построению единого информационно-технологического пространства (ЕИТП), что способствует объединению разрозненных испытательных баз предприятий в рамках единой корпорации (отрасли). ЕИТП, в рамках предприятия, корпорации, а в дальнейшем и отрасли обеспечит возможность интеграции программных комплексов для проведения испытаний с различными системами диспетчеризации и сбора данных, системами управления предприятием.

Данные, получаемые об объектах испытаний из разных структурных подразделений одного предприятия или смежных предприятий в ЕИТП должны иметь унифицированный формат, в целях обеспечения возможности централизованного хранения, анализа, обработки. Ведение единого хранилища данных позволит оптимизировать не только комплексную программу экспериментальной отработки (КПЭО), но и окажет положительное влияние на остальные этапы жизненного цикла изделия. Таким образом, такие подходы к проведению комплексной модернизации, испытательной базы будут способствовать не только повышению точности, числа измеряемых параметров, сокращению времени обработки результатов, но и увеличению получаемых в результате испытаний знаний.

### **Исследование вопросов молниезащиты и электромагнитной совместимости стартового и технического комплексов**

Фролов Л.А.

Научные руководители – Шаповалов Р.В., Мельничук В.Н.

МАИ, г. Москва

В данной научно-исследовательской работе было решено исследовать вопросы молниезащиты и электромагнитной совместимости стартового и технического комплексов.

Для предотвращения ущерба, возможного в результате сбоя в системах управления стартового комплекса (СК), вызываемого молнией и коммутационными перенапряжениями и помехами, в настоящее время используется нормативная база, регламентирующая выполнение строительной части СК, электрических и электронных коммуникаций. Поэтому в работе проведен анализ и систематизация отечественных и зарубежных нормативных документов в области молниезащиты и электромагнитной совместимости технических объектов.

Проведен анализ электромагнитной обстановки на СК при ударах молнии в элементы системы молниезащиты и технические устройства СК, в подходящие инженерные коммуникации. Показано, что косвенные воздействия молнии на СК и его электронное оборудование также могут представлять опасность для штатных режимов работы СК.

В целом сформулированные технические предложения и рекомендации по улучшению электромагнитной обстановки могут быть использованы при эксплуатации стартового комплекса, его модернизации с оснащением современным оборудованием на базе микропроцессорной техники, чувствительной к электромагнитным помехам.

В работе рассмотрены и проанализированы немногочисленные литературные данные об электромагнитной обстановке на объектах космической техники. Описаны эффекты, которые вызываются при поражении молнией технических объектов. Приведены параметры токов молнии, которые учитываются при анализе воздействия ее на объект. Описаны требования к системам молниезащиты и исходные данные для анализа ситуации на стартовом комплексе.

Проведен анализ современного состояния электромагнитной совместимости технических средств при разрядах молнии. Рассмотрены проблемы электромагнитной обстановки на СК и ТК при молниевых разрядах и коммутациях в электросетях снабжения.

Проведены некоторые расчеты электромагнитных воздействий (кондуктивных и индуктивных помех) на элементы оборудования СК и ТК. Проведенные оценочные расчеты показывают, что защита объектов стартового комплекса и ракеты на старте от прямых ударов молнии является достаточной при оценке по методике. В тоже время она явно недостаточна при оценке защищенности объекта (ракеты) по методике.

Сделан прогноз о влиянии электромагнитных воздействий на реальные цепи питания, связи и управления и предложены методы и приборы для их снижения с целью обеспечения надежной работы оборудования СК и ТК.

### **Способы снижения объёма данных, передаваемых в реальном времени по измерительному каналу в системах удалённой диспетчеризации**

Шишкин В.А., Тутов М.А.

Научный руководитель – Перванюк А.С.

МАИ, г. Москва

При проведении наземных испытаний летательных аппаратов может возникнуть необходимость в удалённом наблюдении состояния объекта испытания. В подобных случаях создаются системы удаленной диспетчеризации. От других автоматизированных систем проведения испытаний такие системы отличаются большей протяжённостью измерительных каналов.

Типовой измерительный канал включает: первичный измерительный преобразователь; аналоговые преобразователи, осуществляющие первичную обработку данных; аналого-цифровой преобразователь; ЭВМ со специальным программным обеспечением для обработки данных; связующие компоненты – технические устройства или часть окружающей среды, используемые для передачи сигнала, несущего информацию об измеряемой величине, от одного компонента системы к другому.

В системах удалённой диспетчеризации в качестве связующего компонента можно использовать сегменты глобальной сети. Но следует учитывать, что в

этом случае на процесс передачи данных накладывается ряд ограничений, в том числе - невысокая скорость передачи данных (относительно локальных аппаратных платформ). Поэтому одной из основных задач при построении систем удалённой диспетчеризации является снижение объёма данных, передаваемых по глобальным каналам связи в реальном времени. Этого можно достичь различными дополняющими друг друга способами, имеющими свои достоинства и недостатки.

Для уменьшения количества измеряемых значений, а, следовательно, и общего объёма передаваемых данных, их обычно прорежают с усреднением – группу подряд идущих значений заменяют их средним арифметическим. Это может привести к значительным потерям точности. Но, если вместо среднего передавать минимальное и максимальное значения группы, это позволит в дальнейшем определить наличие даже кратковременных импульсов, что подходит для решения большинства задач измерений.

В случае измерения медленноменяющихся величин значительного уменьшения количества измеряемых значений при незначительном снижении точности можно достичь, пропуская те из них, которые незначительно отличаются от предыдущих.

Передаваемые данные содержат помимо измеренных значений метаинформацию, описывающую дополнительные характеристики отдельных значений и процесса измерения в целом, и служебную информацию, необходимую исключительно для обеспечения передачи по глобальным каналам связи. Для снижения общего объёма передаваемой служебной информации и метаинформации, относящейся к отдельным значениям, собираемые значения следует группировать в пакеты. Метаинформацию, относящуюся к процессу измерения в целом, достаточно передавать однократно перед началом измерений. Аналогично можно поступить и в тех случаях, когда одну часть метаинформации можно рассчитать на основе другой.

Таким образом, сегменты глобальных сетей передачи данных удобно использовать в составе измерительных каналов систем удаленной диспетчеризации для проведения наземных испытаний летательных аппаратов, однако конкретный набор функциональных возможностей, определяемых в т.ч. их архитектурой, должен формироваться исходя из требований к составу и быстродействию проводимых измерений.

## **Получение и обработка результатов испытаний модуля камеры сгорания ракеты-носителя лёгкого класса по схеме с присоединенным воздухопроводом**

Юркин Ю.Ю.

Научный руководитель – Торпачев А.В.

МАИ, г. Москва

Гиперзвуковой прямоточный воздушно-реактивный двигатель – вариант прямоточного воздушно-реактивного двигателя, который отличается от обычного сверхзвуковым сгоранием. На больших скоростях для сохранения эффективности двигателя необходимо избегать торможения приходящего воздуха и производить сжигание топлива в сверхзвуковом воздушном потоке.

Развитие современной вычислительной техники и методов вычислений позволяет проектировать камеры сгорания различной конфигурации, исследовать и объяснить многие физико-химические и газодинамические процессы, определить эффективность и предсказать влияние на характеристики ракеты-носителя. Поэтому существует необходимость в проведении экспериментального исследования с целью создания модели камеры сгорания, способной описать сложные процессы, проходящие в ней с учетом смешения и горения, и определении ее тягово-энергетических характеристик (полноты сгорания, удельного импульса модуля камеры, параметров выноса, агломерации и шлакообразования конденсированной фазы), а также критериев работоспособности элементов конструкции (в частности камеры сгорания и системы транспортировки продуктов газогенерации с многосопельной системой подачи) при режимных параметрах, соответствующих натурным.

Экспериментальным объектом исследований является стендовый образец модуля камеры сгорания, состоящий из газогенератора с твердым наполнителем и воспламенительным устройством с электровоспламенительным патроном, узла распределителя продуктов газогенерации в пилонный блок топливopодачи секционной камеры сгорания с теплозащитными вставками и соплового блока без сверхзвукового участка.

В результате эксперимента получают временной массив измеренных физических величин, полученных на основе преобразования выходного напряжения первичных преобразователей с учетом линий измерения, иллюстрированные фото и видео материалы, протоколы (с указанием режима, времени работы и общей наработки). Обработка результатов осуществляется в редакторах Excel, MathCAD. Для этого производится перевод исходного массива данных в базу данных редактора (в случае необходимости происходит преобразование сигнала и уточнение значений), далее идет построение диаграмм измерения параметров по времени. По результатам экспериментальных исследований проводится обработка зарегистрированной информации в соответствии с расчетными соотношениями оценки характеристик:

Таким образом, данное исследование позволяет произвести комплексный анализ и оценку результатов путем сравнения всех полученных характеристик работы газогенератора и камеры сгорания.

### **Ракетно-космические технологии и разработки, успешно применяемые в других областях деятельности**

Лифинцева Е.В.

Научный руководитель – Торпачев А.В.

МАИ, г. Москва

В последнее время может сложиться ощущение, что космонавтика приобрела утилитарный характер и в основном направлена на удовлетворение потребностей различных наукоемких отраслей; в связи с этим процесс передачи достижений космонавтики в земную промышленность занимает одно из центральных мест в данной отрасли. Принято считать, что космическая технология, возникшая в ходе исполнения программ, есть важное национальное

достояние, которое необходимо многократно использовать для получения новых земных технологий, продуктов и услуг.

При оценке любого нового космического технологического процесса должна определяться и экономическая эффективность его использования для нужд производства. Этим можно добиться значительного научно-технического прогресса страны. Для этого, очевидно, необходима разработка единой государственной программы повторного внедрения достижений ракетно-космической техники в земные отрасли экономики и образование государственного органа, координирующего и отвечающего за это в масштабе страны. Несмотря на то, что в России в ряде случаев эффективно используются некоторые достижения космонавтики в традиционных областях производства, использование их в масштабах страны могло бы быть значительно шире по сравнению с тем, что мы имеем на сегодняшний день.

Показательным примером для нашей страны здесь является иностранный опыт, в частности США: большинство примеров практического использования переноса достижений ракетно-космической отрасли были созданы именно НАСА (Национальное управление по воздухоплаванию и исследованию космического пространства). В результате предпринятых со стороны НАСА мер у потенциального пользователя повторной технологии складывается уверенность в успешном осуществлении нововведения в конкретных условиях своего предприятия. Заинтересованность предпринимателей – успех использования космической технологии в земных отраслях.

Использование исчислимых в ценностном выражении нововведений показало, что их эффективность крайне высока. Каждый доллар, вложенный в НАСА, возвращается американским налогоплательщикам в десятикратном размере. Японцы и европейцы получают тройную отдачу от космических исследований. К примеру, в Японии, инвестировавшей 2,3 миллиарда долларов в JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency – Японское агентство аэрокосмических исследований), развившийся в результате частный космический сектор ежегодно делает вклад в экономику в размере 31 миллиарда долларов.

Как видно, затраты на космические программы ряда стран существенны. Возвращение даже части затраченных средств – насущная, экономически оправданная задача, мотив все более расширяющихся усилий, направленных на повторное использование достижений космонавтики в земных отраслях промышленности. Опираясь на поставленные задачи, удалось раскрыть необходимость передачи таких технологий для повторного использования и эффект, оказываемый ими на мировую экономику

## **СЕКЦИЯ № 18. Радиотехника, телекоммуникации и нанотехнологии**

Руководитель секции: д.т.н., профессор Слепцов В.В.

---

### **Анализ и оценка инновационных направлений развития радиотехнического предприятия**

Аликина А.С.

Научный руководитель – Епанешникова И.К.

МАИ, г. Москва

В настоящее время существует проблема выхода радиотехнической промышленности России на мировой рынок, необходимо повышение конкурентоспособности радиотехнических предприятий для реализации инновационного потенциала и развития приоритетных направлений. Радиотехническая отрасль в российской экономике занимает не самое выгодное местоположение, хотя для России эта отрасль имеет не столько экономическое значение, сколько значение с точки зрения национальной безопасности. В новых военных разработках используется до 60% импортных радиотехнических компонентов, что ставит военно-промышленный комплекс в зависимость от иностранных поставщиков.

Требуется разработка общей методики развития радиотехнической промышленности. Методика развития радиотехнической промышленности в инновационных процессах разрабатывается на основе анализа рынка радиотехнических предприятий. Таким образом, появляется возможность выработки практических рекомендаций для оптимизации системы производства.

При структурированном подходе к решению проблем развития радиотехнической промышленности производительность может значительно возрасти, что в свою очередь, безусловно, даст экономический эффект.

Методика позволяет оценить перспективы развития предприятия в области радиотехнической промышленности, оценить конкурентоспособность, предложить дальнейшие пути развития деятельности конкретного предприятия для увеличения качества продукции и, соответственно, прибыли.

В ходе исследовательской работы были рассмотрены следующие задачи:

- анализ микросреды предприятий радиотехнической промышленности;
- составление конкурентного профиля предприятий радиотехнической промышленности;
- разработка общей методики оценки инновационных направлений конкретного предприятия;
- система критериев для определения целесообразности развития инновационных направлений на примере ЛЭМЗ;
- оценка возможных направлений развития предприятий.

Разработанная методика позволит проанализировать микросреду предприятия радиотехнической промышленности, построить конкурентный профиль, провести оценку инновационных направлений, определить целесообразность этих направлений и дать оценку возможным направлениям развития. В

дальнейшем предполагается уточнение, конкретизация и корректировка разработанной методики для проведения более подробного анализа инновационных направлений развития предприятий радиоэлектронной промышленности с целью выявления наиболее перспективных направлений развития в данной отрасли промышленности.

## **Проблемы развития микроэлектроники в Российской Федерации**

Басов В.Ю.

Научный руководитель – Епанешникова И.К.

МАИ, г. Москва

Наличие собственного производства микроэлектроники обеспечивает технологическую безопасность, независимость государства и во многом определяет его статус среди мировых держав. В настоящее время у России есть реальные перспективы выхода на мировой рынок в качестве глобального игрока в области микроэлектроники, так как хороший стимул в развитии дает государственная программа «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013 – 2025 годы», основными задачами к 2025 году является следующее: увеличение доли отечественных радиоэлектронных изделий, до 40% на национальном рынке, а на мировом – до 0,8%; увеличение доли инновационной продукции в радиоэлектронной промышленности до 40,7%; увеличение доли организаций, осуществивших технологические инновации в электронной и радиоэлектронной промышленности, по отношению к общему количеству производителей; рост объёма выпуска отечественной высокотехнологичной радиоэлектронной продукции к 2025 г. – в 6,4 раза; создать 7,0 тысяч высококачественных рабочих мест; рост числа отечественных и зарубежных патентов (свидетельств) на объекты интеллектуальной собственности, полученных научными организациями и их работниками до 4,3%.

Воплощение задачи полного импортозамещения достаточно долгосрочный и затратный проект, на данном этапе целесообразней выделить критические направления развития и определить необходимую элементную базу. В связи с тем, что существует громадная номенклатура микроэлектронных изделий различного конструктивно-технологического и функционального профиля, ни одной стране не удавалось у себя локализовать весь цикл компонентной базы, начиная с проектирования, разработки и заканчивая производством полного цикла.

К сожалению, развитию большинства предприятий препятствует высокий физический износ их оборудования. Сегодня, по различным оценкам, он превышает 75%. Переоснащение – основной путь, с помощью которого промышленность может решить вопрос своей низкой конкурентоспособности. И здесь проблему нельзя решать по частям, поскольку производственный процесс - система, состоящая из технической и технологически взаимосвязанных элементов, совершенствование которых нужно проводить комплексно. Только системный подход в вопросе переоснащения производств-залог оптимизации инвестиций на закупку нового современного оборудования, сокращения издержек и повышения прибыли предприятий.

Для решения этих проблем через федеральные целевые программы координируется и реализуются задачи, которые помогут конкретизировать усилия для комплексного и системного решения среднесрочных и долгосрочных проблем

В настоящее время российский рынок микросхем составляет менее 1% от мирового, и для развития на внутреннем и мировом рынках огромное значение будет иметь тесное частно-государственное сотрудничество по формированию спроса на микроэлектронику и созданию конкурентных экономических условий производства, а также гарантированных рынков сбыта.

### **Сравнительный анализ влагопроницаемости наноразмерных однослойных фторуглеродных и углеродных пленок**

Безбородова А.А., Зенин П.Б.

Научный руководитель – Елинсон В.М.

МАИ, г. Москва

Влагозащитное покрытие является диффузионным барьером на пути влаги к элементам изделий политроники. Одной из основных задач при разработке защитных покрытий является повышение эффективности этого барьера за счет уменьшения его диффузионной проницаемости.

В гидрофобных материалах диффузия паров воды происходит по тому же механизму, что и диффузия инертных газов. Влагопроницаемость увеличивается с повышением гибкости макромолекул и уменьшением межмолекулярного взаимодействия.

В настоящей работе исследовалась влагопроницаемость наноразмерных однослойных фторуглеродных пленок с различным содержанием фтора (0-50% содержания  $\text{CF}_4$  в плазмообразующей смеси) и углеродных пленок, сформированных при различных ускоряющих напряжениях.

Формирование наноструктурированных фторуглеродных покрытий проводилось на вакуумной установке, оснащенной источником ионов. На первом этапе производилась обработка направленными ионно-плазменными потоками частиц с целью формирования наноструктурированной поверхности с помощью тетрафторметана  $\text{CF}_4$ . На втором этапе наносилась пленка нанометровой толщины с различным соотношением двух газов  $\text{CF}_4$  (тетрафторметана) и  $\text{C}_6\text{H}_{12}$  (пары циклогексана) в газовой смеси.

Влагопроницаемость оценивалась по влагопоглощению полимера ПЭТФ с нанесенной защитной пленкой с учетом ее поверхности, толщины и времени выдержки в дистиллированной воде.

Величина влагопоглощения образцов ПЭТФ, модифицированных углеродными и фторуглеродными тонкими пленками, определялась взвешиванием на электронных аналитических весах Adventurer™ OHAUS с дискретностью 0,0001 грамм: перед помещением в сосуд с дистиллированной водой, сразу после извлечения и просушки образца с помощью фильтровальной бумаги, а также после сушки на воздухе в течение 15 минут. Образцы выдерживались в дистиллированной воде 72 часа.

В результате исследования было установлено, что влагопроницаемость углеродных пленок, сформированных при различном ускоряющем напряжении,

увеличивается с уменьшением энергии при формировании пленок. Также было установлено, что содержание фтора сильно влияет на влагопроницаемость фторуглеродных тонких пленок.

Проведена корреляция данных по влагопроницаемости с величинами поверхностной энергии фторуглеродных пленок на полиэтилентерефталате.

## **Формирование композиционных структур на основе полтитаната калия и фторопласта на проводящей основе**

Дителева А.О., Кукушкин Д.Ю.

Научный руководитель – Васильев А.М.

МАИ, г. Москва

Разработка принципиальных решений и технологий создания энергоемких мобильных накопителей электрической энергии является актуальной и своевременной задачей.

Перспективным направлением могут быть конденсаторные структуры на основе керамических материалов с высокой диэлектрической проницаемостью  $\epsilon > 10^7 - 10^8$ .

В качестве диэлектрика в конденсаторной структуре был выбран полимер-керамический композиционный материал, состоящий из фторопласта и полтитаната калия (ПТК). Полтитанат калия представляет собой слоистую керамику, легированную наночастицами железа, полученного в результате специальной обработки исходной матрицы сульфатом железа ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ). Такая структура имеет диэлектрическую проницаемость  $\epsilon \sim 10^6 - 10^7$ .

Полимер-керамический композиционный материал получали путем смешивания суспензии фторопласта Ф4-Д с порошком ПТК, легированным нанокластерами железа ( $\text{ПТК} + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ), на магнитной мешалке в течение 5 – 10 минут. Формирование композиционной структуры осуществлялось комбинированным методом: методом поливки смеси на основе полтитаната калия и суспензии фторопласта на электропроводящую подложку – алюминиевую фольгу, покрытую слоем титана, с последующей обработкой поверхности ракем для равномерного распределения полимер-керамического композиционного материала по всей площади электродов и уменьшения толщины рабочего слоя. Толщина покрытия составляет 3-5 мкм, поэтому возможно нанесение многослойного покрытия с сушкой и последующим спеканием каждого слоя. Сушка производилась на воздухе при комнатной температуре, далее слой покрытия спекался в сушильном шкафу при температуре  $300 \pm 10$  °С в течение 5 – 10 минут для увеличения адгезии спеченного слоя к подложке из металла.

После спекания покрытие получается прозрачное или мутновато-белое, ровное, без трещин, что доказывают снимки, полученные на электронном микроскопе. Адгезия спеченного слоя к проводящей основе заметно выше в сравнение с адгезией покрытия, высушенного на воздухе при комнатной температуре.

Дальнейшее развитие работы связано с применением рассмотренной технологии формирования композиционной структуры на основе полтитаната

калия и фторопласта для создания керамических конденсаторов, обеспечивающих высокие рабочие характеристики.

## **Формирование структур золота на поверхности опаловой плёнки**

Доброносова А.А.

Научный руководитель – Панфилова Е.В.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

В последнее время в работах многих авторов синтетический опал и структуры на его основе рассматриваются в качестве не только фотонных, но и плазмонных кристаллов. В литературе рассмотрены оптические свойства фотонных кристаллов, в структуре которых присутствуют квантовые точки в виде дефектов или периодически расположенных структурных элементов. Такие материалы классифицируются авторами как квантовые фотонные кристаллы. В случае квантовых точек, периодически расположенных в однородной матрице, вводится понятие о новом типе фотонного кристалла – квантите. Подобные структуры могут быть получены при осаждении тонких пленок на поверхность опаловой матрицы.

В работе приведены результаты исследования процесса роста тонких пленок золота на поверхности синтетического опала и свойств полученной структуры. Представлены изображения и параметры рельефа поверхности, полученные с помощью атомно-силовой микроскопии, спектры отражения и спектры комбинационного рассеяния.

Исследуемые образцы представляют собой сформированную на подложках из стекла либо ситалла структуру, состоящую из адгезионного слоя хрома толщиной 1 мкм, опаловой пленки толщиной в несколько слоев сфер кремнезема  $SiO_2$  средним диаметром 280 нм и слоя золота  $Au$  с варьируемой толщиной до 180 нм. АСМ-сканирование образца подтвердило наличие регулярной структуры. Исследование рельефа осуществлялось по следующим параметрам: шероховатость  $Ra$ , средняя высота рельефа  $Hr$  и средняя кривизна профиля сферы кремнезема. Для определения двух последних параметров был построен профиль рельефа для каждого из образцов.

Были проведены две разнесенные по времени серии эксперимента: для толщин пленок до 100 нм и от 100 нм до 180 нм. В результате обработки результатов были построены кривые зависимости высоты рельефа, шероховатости поверхности и кривизны профиля глобулы от толщины нанесенной пленки.

Таким образом, можно предположить, что варьируя временем нанесения золота в пределах указанных выше толщин золотой пленки на свидетеле, на поверхности опаловой пленки можно сформировать как «островки», так и сплошную повторяющую рельеф опаловой матрицы пленку золота.

Поскольку подобного рода структуры интересны с точки зрения возникновения плазмонных эффектов, определенный интерес представляло исследование спектров их комбинационного рассеяния. В работе представлен спектр, полученный для золота с толщиной пленки на свидетеле 50 нм и 180 нм в присутствии красителя родамин 6Ж, свидетельствующий о возможности

появления ГКР-эффекта на исследуемых структурах и необходимости дальнейших детальных исследований в этой области.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологии формирования слоистых структур на основе опаловых матриц, в частности, при изготовлении чувствительных элементов газовых сенсоров, ГКР-подложек и эмиссионных устройств.

### **Разработка технологии нанесения фторуглеродных плёнок при пониженном давлении из плазмообразующей смеси $\text{CF}_4 + \text{C}_6\text{H}_{12}$**

Игнатьев А.А., Сильницкая О.А., Щур П.А.

Научный руководитель – Елинсон В.М.

МАИ, г. Москва

Полимерные материалы имеют широкое применения в микроэлектронике, политронике, медицине и др. В зависимости от сферы применения они должны обладать определенным набором свойств. Поэтому, модифицирование поверхности полимерных материалов с приданием им определенных свойств является весьма актуальной задачей, поскольку именно поверхность влияет на функциональные характеристики изделия и время его работоспособности. В настоящей работе представлены результаты по разработке технологии формирования фторуглеродных пленок, поскольку фторуглеродные материалы обладают низкой поверхностной энергией, что приводит к появлению гидро- и олеофобных свойств, способствующих увеличению ресурса работы приборов и устройств с барьерными слоями на их основе, а также снижают вероятность колонизации поверхности различными микроорганизмами.

Для разработки технологии формирования фторуглеродных пленок при пониженном давлении большой интерес представляет плазмообразующая смесь ( $\text{CF}_4 + \text{C}_6\text{H}_{12}$ ). С одной стороны, регулирование содержания  $\text{CF}_4$  в плазмообразующей смеси позволяет управлять содержанием фтора в растущей фторуглеродной пленке, а с другой стороны, данная смесь содержит компоненты, которые могут обеспечить как нанесение растущих пленок, так и травление.

Нанесение пленок производилось на подложки из полимерных материалов: политетрафторэтилена (ПТФЭ) и полиэтилентерефталата (ПЭТФ). Образцы, сформированные обработкой ионами  $\text{CF}_4$  в течении 30 минут с последующей модификацией наноструктурированной поверхности нанесением фторуглеродных пленок при использовании газовой смеси ( $\text{CF}_4 + \text{C}_6\text{H}_{12}$ ) с различным содержанием  $\text{CF}_4$ .

На основании электронно-микроскопического анализа полученных образцов можно сделать вывод, что обработка поверхности ПТФЭ потоком  $\text{CF}_4$  в течении 30 минут приводит к резкому изменению рельефа. Дальнейшее модифицирование наноструктурированной поверхности нанесением фторуглеродной пленки, содержащей 10% и 30%  $\text{CF}_4$  в газовой смеси, приводит к сглаживанию рельефа в результате нанесения пленки с большим содержанием углерода. Затем рельеф радикально меняется для образцов, содержащих  $\text{CF}_4$  в количестве 40% и 60%. Далее происходит сглаживание рельефа за счет

конкурирующего с нанесением фторуглеродной пленки процесса травления, что проявляется в изменении рельефа у образцов, содержащих 70%  $\text{CF}_4$ .

Результаты количественного рентгеновского микроанализа экспериментальных образцов подтверждают приведенные выше результаты электронно-микроскопического анализа.

Зависимость скорости роста фторуглеродных пленок от содержания тетрафторметана  $\text{CF}_4$  в плазмообразующей смеси и результаты количественного рентгеновского микроанализа экспериментальных образцов являются прямым доказательством наличия области переходных процессов от нанесения пленок к травлению.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по Госзаданию 16.1668.2014/К.

## **Перспективные наноматериалы для солнечных элементов**

Кондратюк Р.И.

Научный руководитель – Слепцов В.В.

МАИ, г. Москва

За прошедшие десятилетия с момента зарождения солнечной энергетики было разработано и внедрено в производство множество технологий и базовых материалов для создания полупроводниковых солнечных элементов. В 2009 году впервые была показана возможность создания фотовольтаических ячеек на основе перовскитовых структур. С тех пор эффективность солнечных элементов на основе перовскитов возросла с 1-4% до 22%, время жизни приборов с минут до нескольких месяцев. Столь стремительный рост параметров, а также низкая стоимость производства позволяет предположить, что в ближайшем будущем данная технология может стать лидирующей с точки зрения эффективности, надёжности и стоимости среди существующих и применяемых на практике вариантов. В России исследования по указанной теме практически отсутствуют, и требуют инициализации и активного участия с целью соответствия мировому научному уровню в области фотовольтаических элементов.

Одним из существенных преимуществ технологии перовскитовых солнечных элементов является использование низкотемпературных (ниже 200 С) процессов нанесения слоёв. Это позволит в будущем создавать фотовольтаические элементы на полимерных подложках, что существенно расширит область применения солнечных батарей и снизит стоимость их производства. Стоит отметить, что в отличие от органических солнечных батарей перовскиты потенциально позволят получить более высокую стабильность, поскольку представляют собой совокупность органических и неорганических веществ.

В рамках проведения работы на первом этапе были рассмотрены известные на сегодняшний момент структуры. На основе проведенного анализа были отобраны перспективные многослойные структуры для создания солнечных перовскитовых элементов.

В настоящее время изготавливается следующая структура: Стекло - проводящий слой ИТО – транспортный слой для электронов ( $\text{TiO}_2$ ) – активный перовскитовый слой ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ) – транспортный слой для дырок ( $\text{NiO}_x$ ) – электрод (Au).

Слой ИТО получают методом магнетронного распыления. Активные слои  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  методом синтеза из  $\text{CH}_3\text{NH}_2$ ,  $\text{HI}$ ,  $\text{PbI}_2$  в соответствующих растворителях ( $\text{DMSO}$ ,  $\text{DMF}$ ) с последующим нанесением на подложку методом центрифугирования. Слой  $\text{TiO}_2$  получают методом магнетронного напыления  $\text{Ti}$  в среде  $\text{O}_2$ , либо из жидкости (раствор ТВТ) центрифугированием. Слой  $\text{NiOx}$  наносится методом магнетронного напыления  $\text{Ni}$  в среде  $\text{O}_2$ , либо из жидкости (раствор  $\text{NiFD}$ ) центрифугированием. Слой  $\text{Au}$  получают методом магнетронного напыления.

В данный момент синтезированы исходные вещества  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$  и  $\text{PbI}_2$  и получены первые образцы нанесённого слоя  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ . Далее будет проведен подбор необходимых режимов для нанесения активного слоя требуемой толщины в 100–400 нм, с заданными структурными характеристиками.

В дальнейшем планируется провести исследования оптических и электрофизических свойств отдельных активных слоев и многослойной структуры в целом. Также предполагается исследовать химический состав, структуру активных слоев, их электропроводность, определить оптическую ширину запрещенной зоны, коэффициент поглощения в видимом диапазоне и ближнем ИК диапазоне длин волн. Также запланировано исследование характеристик получаемых солнечных элементов и их изучение в зависимости от технологических режимов и формируемых структур.

### **Формирование электродных материалов на бусофите**

Мальчугин В.Е.

Научный руководитель – Слепцов В.В.

МАИ, г. Москва

Сверхъёмки интеллектуальные источники тока (СИИТ) предназначены для основного и резервного электропитания радиоэлектронного оборудования, работающего в стационарных и автономных режимах и может использоваться в комбинированных энергоустановках.

Работа источника энергии для отдельного потребителя оценивается как величиной отдаваемой энергии для обеспечения стационарных режимов его работы, так и величиной отдаваемой мощности для обеспечения переходных режимов. Кроме того важным фактором является качество электроэнергии в сети. Которое оценивается допустимыми флуктуациями тока и напряжения. Поэтому важно создание сверхъёмких конденсаторов (ионисторов), которые обеспечивают мощность и сглаживают пульсации.

Перспективным направлением создания такой сверхъёмкой конденсаторной структуры является ионистор, в котором электродные материалы выполнены на основе суперпористой углеродной ткани типа «Бусофит».

В работе использовали «Бусофит» с нанесенным слоем титана. Слой титана наносится в вакуумной рулонной установке методом магнетронного распыления. Это приводит к снижению контактного сопротивления между элементами электролитической ячейки.

Электронные микрофотографии металлизированного материала показали, что металлизация в вакууме обеспечивает нанесения покрытия на каждую отдельную нить углеродного волокна.

Было показано, что внутреннее сопротивление электролитической ячейки снижается и минимальное значение ее составляет 0,01 Ом. Однако для дальнейшего увеличения удельной энергоемкости электролитической ячейки и повышения рабочего напряжения необходимо нанести слой титана на каждую ниточку бусофита.

Используемая конструкция магнетронного метода, однако, не обеспечивает решение этой задачи. Было установлено, что те волокна, которые находятся ближе к центрально части материала менее металлизированы, чем те, которые находятся ближе к поверхности.

Для решения данной проблемы есть несколько возможных решений:

- Уменьшить толщину углеродного материала;
- Сделать так, чтобы плазма горела между валом, на котором находится углеродный материал, и магнетроном;
- Использовать два встречно-направленных магнетрона, при этом углеродный материал установить между ними;
- Использовать технологию электрофореза.

Данные методы могут помочь решить возникшую проблему и привести к улучшению характеристик СИИТ.

### **Исследование оптических методов обработки информации и возможность применения их в авионике**

Нечаев Р.А.

Научный руководитель – Лямин А.Н.

МАИ, г. Москва

Авионика в настоящее время развивается как в аппаратной, так и в функциональной части. Рост количества выполняемых функций авионики, а также продолжительности бесперывной работы требуют от устройства максимальной надежности, отказоустойчивости и вычислительной мощности. Использование оптоэлектроники является удовлетворяющим данным требованием. Одно из преимуществ оптической технологии перед электронной технологией заключается в том, что устройства, работающие со светом, имеют малые габаритные характеристики и потребляют минимум электроэнергии. Массовое производство и использование на сегодняшний момент затруднено в связи с неразвитой технологией производства и, соответственно, ценой каждого компонента.

Несмотря на данные проблемы, разрабатываются устройства с применением имеющихся компонентов. Следовательно, формируются следующие задачи: исследование возможностей оптоэлектроники, разработка устройства с применением доступной оптоэлектроники, разработка устройства с применением возможной оптоэлектроники.

Существует два вида устройств: полностью построенные на принципах оптоэлектроники и комбинированный вид, а именно электронное устройство с включенными в него оптическими элементами. Несмотря на появление новых оптических элементов, первый вид возможен только теоретически. Разрабатывая комбинированные устройства, необходимо учитывать необходимость

преобразования электрического сигнала в оптический сигнал и обратно, а также продолжительность данного преобразования.

Процессор от IBM, используемый в данной работе, исключает вышеизложенную необходимость преобразования. Данный процессор сочетает в себе оптические и электронные технологии на одном кристалле и создан с использованием 45-нанометровой технологии CMOSOI. Использование данного процессора совместно с оптической энергонезависимой памятью, а также оптическими каналами передачи данных, основанных на оптоволокне типа AllWaveZWP (zerowaterpeak), даёт возможность создать наиболее развитую вычислительную структуру.

На данный момент разрабатывается устройство авионики для БПЛА с применением передачи данных оптическим методом, а именно замена классической шины данных на оптическую шину данных. Особенности устройства являются: максимальное мультиплексирование данных (I2C, UART и т.д.), их преобразование в оптический сигнал, создание аналога одномодовых систем DWDM (т.е. оптических мультиплексоров), с использованием AllWave-волокон, а также разработка архитектуры оптической шины данных. В будущем планируется использовать вышеупомянутые системы в разработке.

Необходимо заметить, что развитие электроники напрямую связано с развитием оптоэлектроники, т.к. оптические технологии демонстрируют большие возможности обработки и передачи данных. Использование данной технологии в авионике также актуально в связи с возможностью продолжительной безотказной работы.

## **Разработка конструкции экспериментального образца трассового газоанализатора**

Приставка А.М., Халитова А.Т.

Научный руководитель – Баранов А.М.

МАИ, г. Москва

На территории России находятся более ста тысяч экологически опасных объектов, а также сотни тысяч километров нефтегазовых трубопроводов. Год от года растет насыщенность территории России промышленными объектами, в том числе, и нефтегазового комплекса. В связи с этим встает задача непрерывного мониторинга горючих, взрыва- и пожароопасных и токсичных газов на больших площадях (на территориях промышленных объектов и прилегающих к ним территориях населенных пунктов).

Целью работы являлась разработка конструкции и технологических принципов создания трассового оптоэлектронного газоанализатора довзрывоопасных концентраций газов и паров углеводородов в воздухе с передачей данных на основе беспроводных сетевых протоколов.

Макет трассового оптоэлектронного газоанализатора состоит из двух блоков – излучательного и измерительного. В макете реализована двухлучевая схема измерений с последовательным проведением измерений на двух длинах волн: измерительной (излучение на которой поглощается метаном) и опорной (излучение которой не поглощается метаном). В качестве источников и приемника излучения использовались светодиоды и фотодиод на основе

гетероструктур GaInAsSb/AlGaAsSb. Измерительным является излучение светодиода с максимумом на 2.3 мкм (LED23), опорным является излучение светодиода с максимумом на 1.7 мкм (LED17). Светодиоды располагаются в корпусе с параболическим отражателем на охлаждаемой основе с термоэлектрическим модулем (элементом Пельтье). Это позволяет стабилизировать их температуру. Длина волны опорного излучения 1.7 мкм выбрана по следующим причинам. Во-первых, опорное излучение не должно поглощаться метаном. Во-вторых, в воздухе всегда присутствуют пары воды. Поэтому выбор опорного излучения делался, чтобы избежать влияния воды.

В измерительном блоке используются фотодиоды марки Lms24PD-20-TEM. В состав измерительного блока, помимо фотодиода, входят также блок измерения и линеаризации сигнала, микроэлектронный блок управления и блок беспроводной передачи данных, а также блок питания.

Тестовые измерения проводились с использованием десятисантиметровой кюветы, наполняемой воздухом или чистым метаном. Моделирование спектров проводилось на основе данных базы данных HITRAN. Измерения проводились следующим образом. Первоначально в кювете находился чистый воздух и измерялась интенсивность излучения на длинах волн 1.7 и 2.3 мкм. Далее в кювету пропускали метан и одновременно проводили измерения интенсивность излучения на длинах волн 1.7 мкм и 2.3 мкм. Результаты измерений и моделирования хорошо совпали между собой.

В целом, в работе показана возможность определения концентраций метана воздуха на уровне долей НКПР, что позволяет в будущем создать компактный светодиодный инфракрасный газоанализатор природного газа с низким энергопотреблением на основе светоизлучающих диодов ИК диапазона на гетероструктурах для дистанционного мониторинга метана вдоль протяженных объектов.

Благодарность. Работа проводится при поддержке Минобрнауки РФ. Уникальный идентификатор ПНИ RFMEFI57714X0022.

## **Тонкоплёночные технологии формирования покрытий на поверхности высокопористых рулонных материалов для конденсаторных структур**

Романько В.В.

Научный руководитель – Слепцов В.В.

МАИ, г. Москва

Одним из приоритетных направлений, связанным с обеспечением электроэнергией электронной аппаратуры, является создание гибридных сверхёмких интеллектуальных источников тока (СИИТ), в состав которых входят накопители энергии, например, литиевые батареи, суперконденсаторы и микропроцессорная система управления.

Сверхёмкие интеллектуальные источники тока (СИИТ) наряду с химическими имеют широкий спектр применений – от источников питания портативных устройств до электромобилей и мощных рекуперативных систем автономного электроснабжения. Поэтому, разработка базовых технологий

создания нового поколения источников электропитания на основе сверхёмких конденсаторных структур является актуальной и своевременной задачей.

Сегодня развивается два направления создания суперконденсаторных структур для СИИТ. Первое – это электролитические конденсаторные структуры с использованием в качестве электродов материалов на основе углерода с развитой поверхностью, и второе – это керамические конденсаторы на основе сегнетоэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью.

К настоящему времени, наиболее изученной и подготовленной к массовому внедрению технологией производства суперконденсаторных структур является рулонная технология изготовления электролитических конденсаторных ячеек на основе углеродистой ткани, накапливающей на высококоразвитой поверхности электрическую энергию и выполняющей, кроме того, функцию токосъёмного элемента, передающего эту энергию на нагрузку.

Ключевым элементом технологии является электродный материал – тонкопленочная электролитическая структура, определяющая энергетические и эксплуатационные характеристики суперконденсаторов.

В результате проведенных исследований и разработок была получена электролитическая конденсаторная структура, обеспечивающая удельную запасенную энергию на уровне 20-40 Вт·час/кг и выше. Полученные результаты достигнуты за счет сочетания двух процессов – вакуумной металлизации пористого углеродного материала и осаждения на поверхность нанокластеров металлов с их последующим позиционированием в поровое пространство.

Используемая технология обеспечивает получение электродных материалов, интегрируемых с токоприемниками. Суть интеграции состоит в том, что токоприемник наносится на рулонный углеродный материал в виде слоя металла в вакууме, что обеспечивает снижение внутреннего сопротивления электролитической ячейки и снижение массогабаритных характеристик в сравнении с накладными токоприемниками.

Второй важной составляющей технологии является электроимпульсная обработка исходной углеродной ткани в жидкой среде, содержащей нанокластеры металла. Эта обработка обеспечивает принципиальную возможность формирования покрытия на всей поверхности высокопористого материала, что снижает электрическое сопротивление и стабилизирует параметры электродного материала.

Таким образом, была успешно разработана и апробирована высокопроизводительная технология получения сверхёмких электролитических конденсаторных ячеек, с удельными характеристиками 20-40 Вт·ч/кг. Такие показатели свидетельствуют о высокой перспективности рулонных технологий формирования тонкопленочных структур для использования в конденсаторных ячейках.

## **Платформа аккумуляции энергии из окружающей среды для питания беспроводного датчика угарного газа**

Саба Акбари, Спирыкин Д.Н.

Научный руководитель – Баранов А.М.

МАИ, г. Москва

В последнее время наблюдается рост научных исследований по применению беспроводных датчиков для мониторинга окружающей среды. Мониторинг концентрации газов считается одним примером в этой области. При отсутствии питания от кабельных линий, время работы беспроводных газовых датчиков ограничивается емкостью батарей. Для того чтобы увеличить время их автономной работы, одним вариантом является проектирование платформы которая может аккумулировать энергию от нескольких источников энергии окружающей среды. В этой статье, приведено краткое описание разработанной нами схемы сбора энергии для питания беспроводного датчика угарного газа.

В структуру сенсорного модуля входят микроконтроллер МК ATXMTGA32A4, электрохимический датчик разработанный фирмой Nemoto, беспроводной модем ETRX3 2,4 ГГц поддерживающий протокол Zigbee и блок сбора энергии который в свою очередь содержит солнечную панель, ветрогенератор, два суперконденсатора (емкостью 400 Ф и напряжением 2,7 В) для накопления энергии окружающей среды, DC – DC преобразователь TPS61200 и литиевую батарею типа AA (напряжением 3,7 В, емкостью 3200 мАч) применимую в качестве резервного питания.

Функция блока сбора энергии заключается в накоплении энергии из окружающей среды, отслеживании напряжения на суперконденсаторах, выборе источника питания и подачи напряжения от выбранного источника питания в DC – DC преобразователь.

Солнечная панель используемая при работе имеет максимальное напряжение 2,2 В и тоже самое значение напряжения выдает ветрогенератор когда скорость ветра составляет примерно 4 м/с. В результате эксперимента, зарядка первого суперконденсатора без нагрузки и при указанной скорости ветра до напряжения 2,2 В, требовала 14 часов. Второй суперконденсатор, предназначенный для сбора солнечной энергии, зарядился без нагрузки за час до напряжения 2,2 В при солнечной погоде. Также в отдельном эксперименте исследовалась саморазрядка суперконденсатора. Процесс саморазрядки от напряжения 2.7 В до 2.2 В происходил примерно за 7 дней. Энергия каждого суперконденсатора при полной зарядке составляет 1450 Дж или 0,41 Вт·ч. Теоретические расчеты показывают, что время автономной работы датчиков составляет 360 часов, если оба суперконденсатора полностью заряжены. Однако при эксперименте суперконденсаторы разрядились за 240 часов. Причина связана с явлением саморазряда суперконденсаторов а также потерями в DC – DC преобразователе.

Датчик будет питаться от батарейки, если напряжение на суперконденсаторах меньше 0,9 В. Необходимо отметить, что время работы датчика, используя литиевую батарею, составляет 21 месяц. Если напряжение на обоих суперконденсаторах больше 0,9 В выбирается тот, который имеет больше напряжения. После того, как выбирается источник энергии, напряжение от

соответствующего источника поступает в DC-DC конвертер и преобразуется в уровень, который необходим для работы датчика.

Благодаря разработанной платформе сбора энергии, логике измерения и типу применяемого датчика, автономная работа сенсорного модуля увеличивается.

Работа проводится при поддержке Минобрнауки РФ. Уникальный идентификатор ПНИ RFMEF157714X0133.

## **Перспективы 3D-MID технологий в производстве трехмерных электронных устройств (ТЭУ)**

Сидоров С.А.

Научный руководитель – Кондрашин А.А.

МАИ, г. Москва

Все известные технологии квази-3D и 3D-технологий по созданию трёхмерных электронных устройств обладают одним значительным недостатком – отсутствием возможности формирования многослойных сложных 3D объектов, с использованием в качестве функциональных элементов всех граней, ребер и толщин стенок. Поэтому в настоящее время начали активно развиваться технологии формирования 4D объектов ТЭУ, позволяющих формировать «монокристаллические» детали, «выращиваемые» внутри свободного объёма функциональные многослойные структуры или конструкции. Т.е. снаружи и внутри любого «свободного» объема детали могут быть размещены слои или линии коммутирующих и дискретных микроэлектронных элементов.

Первым шагом при разработке технологий создания полноценных 4D объектов ТЭУ стало создание квази 4D-объектов. Группа технологий для получения квази 4D-объектов получили название 3D\_MID\_технологий (Three Dimensional Molded Interconnected Devices) или технологии изготовления трехмерных схем на базе литого монтажного основания (MID – Molded Interconnected Devices).

Поэтому исследование возможностей применения 3D\_MID\_технологий в производстве ТЭУ – весьма актуальная и практически значимая задача.

В качестве примера разработки 3D устройства приведено сравнение габаритов автономного радиопередатчика УКВ диапазона, выполненного по современной технологии печатных плат с компонентами, монтируемых на поверхность («поверхностный монтаж») и будущей технологии, основанной на 3D трассировки и принципах 3D\_MID\_технологий.

Исходя из анализа схемы электрической принципиальной, для конструирования платы радиопередатчика УКВ диапазона, выбрана современная элементная база, основанная на чипах для поверхностного монтажа. Габаритные размеры устройства составляют не менее 15 x 25 x 15 мм.

Проектирование данного устройства, выполненное в редакторе SolidWorks с использованием 3D трассировки всего объёма объекта и замене части элементной базы на выращиваемые структуры на базе 3D\_MID\_технологий, свидетельствует о возможности изготовления данного устройства с габаритами: 6 x 6 x 5 мм, что в самом ближайшем будущем позволит уменьшить размеры устройства в 30 раз.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по теме № 2.802.2016/нм «Подготовка аналитических материалов и проведение организационно-технической работы в рамках реализации мероприятий по формированию дорожной карты «Развитие оптоэлектронных технологий фотоники».

## **Разработка системы визуализации данных измерений беспроводных газовых датчиков**

Спирякин Д.Н., Фонг Тхань Ку  
Научный руководитель – Баранов А.М.  
МАИ, г. Москва

В настоящее время чрезвычайно актуальной задачей является эффективное осуществление мониторинга газового состава окружающей среды путем создания беспроводных сенсорных сетей, обеспечивающих непрерывный контроль горючих, токсичных и взрывоопасных газов. Беспроводная сенсорная сеть состоит из двух основных частей: беспроводных сенсорных модулей и системы приема и визуализации данных измерений от беспроводных сенсорных модулей.

Целью работы являлась разработка системы визуализации данных измерений от беспроводных газовых датчиков, являющейся одновременно координатором сенсорной сети. Задачей системы визуализации является получение данных по радиоканалу от автономных беспроводных газовых датчиков, отображение их на экране, информирование соответствующих аварийных служб и выдача команд беспроводным исполнительным устройствам.

Система визуализации состоит из следующих основных частей: блока питания, блок управления, ЖКИ и двух беспроводных модемов ZigBeeи GMS. Питание системы осуществляется от источника питания 220 В переменного тока, которое преобразуется с помощью AC-DC преобразователя, выходное напряжение которого составляет 12 В. Напряжение 12 В преобразуется в напряжения +5, +4,5 и +3,3 В, которые используются для питания компонентов системы визуализации.

Управление системой визуализации осуществляется программно, с помощью микроконтроллера STM32F102C6, который управляет работой всех компонентов системы визуализации.

Программа микроконтроллера осуществляет инициализацию оборудования, прием и передачу данных по беспроводной сенсорной сети и вывод данных на цветной ЖКИ. Наличие среди встроенных периферийных устройств микропроцессора контроллера ЖКИ позволяет подключить индикатор к нему напрямую без использования дополнительных микросхем, что делает такое решение более дешевым.

Система визуализации данных является координатором беспроводной сенсорной сети. Подключение к ZigBee сети осуществляется с помощью микросхемы модема TG-ETRX3. Для передачи данных в сетях ZigBee в модеме используется EmberZNetZigBee стек. Управление модулем производится по интерфейсу UART с помощью AT команд.

Кроме индикации текущего состояния сети на ЖКИ, система визуализации может осуществлять преобразование протокола передачи данных беспроводной сенсорной сети в другие интерфейсы с целью дальнейшей пересылки данных. Посредством GSM/GPRS модема, при возникновении событий, осуществляется отправка SMS сообщений. Кроме того посредством этого модема или передача данных на сервер по протоколам TCP/IP.

Разработанная система визуализации данных от беспроводных газовых датчиков позволяет осуществлять обработку и вывод данных на ЖКИ, а также выполнять визуальную и звуковую индикацию состояний и событий, происходящих в беспроводной сенсорной сети. Данные от беспроводных газовых датчиков могут быть загружены в Интернет, что позволяет получить к ним доступ с любого компьютера.

Работа проводится при поддержке Минобрнауки РФ. Уникальный идентификатор ПНИ RFMEF157714X0133.

### **Исследование углеродных и фторуглеродных покрытий полученных ионно-плазменными методами атмосферного давления**

Шведов А.В.

Научный руководитель – Лямин А.Н.

МАИ, г. Москва

Современная радиоэлектроника становится всё более востребованной в различных областях промышленности и народного хозяйства. Это приводит к ужесточению требований, предъявляемых к конструкциям и к условиям эксплуатации электронных устройств. Одними из наиболее важных требований являются: устойчивость работы в условиях повышенной влажности и микробиологических загрязнений, приводящих к биодеструкции материалов. Особенно остро стоит вопрос защиты полимерных материалов на всех этапах жизненного цикла радиоэлектронной аппаратуры.

Один из способов защиты поверхностей материалов и устройств – нанесение углеродсодержащих покрытий с гидрофобными и антимикробными свойствами. Вакуумные методы ионно-плазменной технологии, являющейся одним из базовых методов микро- и нанoeлектроники, хорошо зарекомендовали себя при нанесении тонких (5 – 100 нм) покрытий. При этом вакуумные методы обладают целым рядом недостатков, в т.ч. необходимость создания и поддержки вакуума, а так же низкой мобильностью установок. Все эти обстоятельства вызывают значительный интерес к созданию и ионно-плазменных устройств атмосферного давления.

Одни из самых распространённых плазменных устройств атмосферного давления являются установки на базе диэлектрического барьерного разряда и плазмотроны. Поэтому целью данной работы является исследования возможности формирования углеродных и фторуглеродных покрытий с использованием ВЧ плазмотрона и исследование их характеристик. Для достижения данной цели необходимо исследование условий формирования плазмы в различных газовых средах атмосферного давления и определение технологических факторов формирования углеродных и фторуглеродных плёнок.

Особенностью работы ВЧ плазмотрона для формирования плёнки является использование нескольких потоков газа. В качестве плазмообразующего потока газа были выбраны гелий (He) и аргон (Ar), в качестве транспортных газов – гелий и фторид углерода (CF<sub>4</sub>), а в качестве плёнообразующего газа – пары циклогексана (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>). В качестве подложки был выбран кремний (Si).

Одними из наиболее важных технологических факторов являются: расстояние от сопла плазмотрона до подложки, которое варьировалось от 15 до 27 мм, и время нанесения (до 1,5 мин). Выявлены нелинейные зависимости характеристик углеродных и фторуглеродных плёнок от данных технологических факторов. Установлено, что в качестве плазмообразующего и транспортного газа, гелий по сравнению с аргоном, обеспечивает на 30–40% более высокую скорость роста углеродной плёнки. Использование аргона в качестве плазмообразующего и транспортного газа приводит к увеличению равномерности углеродной плёнки. Максимальный диаметр углеродной плёнки составляет 12 мм при расстоянии от сопла плазмотрона до подложки равном 15 мм. Скорость формирования фторуглеродной плёнки в 4 – 5 раз меньше скорости формирования углеродной плёнки. Равномерность покрытия увеличивается при сохранении диаметра сформированного покрытия.

Дальнейшие исследования будут направлены на исследование рельефа, формируемых покрытий, химического состава и энергетических характеристик поверхности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по Госзаданию 16.1668.2014/К.

### **Исследование токсичности наноструктурированных фторуглеродных покрытий полимеров медицинского назначения**

Щур П.А., Умпиерре Э.Э.

Научный руководитель – Елинсон В.М.

МАИ, г. Москва

В настоящее время процессы модернизации, происходящие в современной медицине, связанные с созданием и использованием инновационного оборудования, усовершенствованием инструментария и расходных материалов, существенно расширяют использование полимерных материалов и их ассортимент. Одним из основных требований к изделиям из полимерных материалов является антимикробная активность по отношению к различным микроорганизмам.

Полимерные материалы с антимикробной активностью могут быть сформированы методами ионно-плазменной технологии, которые позволяют создавать наноструктурированные барьерные слои на поверхности полимерных материалов и изделий, не затрагивая основной материал, и совмещать целевые функциональные свойства изделий с приданием их поверхности антимикробных свойств.

Необходимым условием использования ионно-плазменных технологий является то, что наноструктурированные поверхности не должны затруднять процессы, протекающие в клеточных структурах при взаимодействии, т.е. не оказывать токсического действия и не влиять на их функцию. Поэтому целью

данной работы является исследование влияния наноструктурированного фторуглеродного покрытия с разным содержанием фтора в газовой смеси на токсичность полимеров медицинского назначения в отношении клеточных элементов крови.

Формирование наноструктурированных фторуглеродных покрытий проводилось на вакуумной установке, оснащенной источником ионов. На первом этапе производилась обработка направленными ионно-плазменными потоками частиц с целью формирования наноструктурированной поверхности с помощью тетрафторметана  $CF_4$ . На втором этапе наносилась пленка нанометровой толщины с различным соотношением двух газов  $CF_4$  (тетрафторметана) и  $C_6H_{12}$  (пары циклогексана) в газовой смеси.

Для проведения эксперимента использовались чашки Петри из полистирола с диаметром 40 мм («Медполимер», Санкт-Петербург), на внутреннюю поверхность которых была нанесена фторуглеродная пленка. Объектом для исследования были выбраны лейкоциты и эритроциты периферической крови. С помощью лейкоцитов изучалось влияние воздействия наноструктурированных материалов на функциональную активность нейтрофилов на примере фагоцитарной функции нейтрофилов и гемолитических свойств на примере эритроцитов.

Проведенные эксперименты показали, что все наноструктурированные поверхности, обработанные ионами  $CF_4$  с последующим нанесением фторуглеродной пленки с содержанием  $CF_4$  в газовой смеси от 10% до 50%, не оказывают отрицательного влияния на фагоцитарную функцию нейтрофилов, т.е. не проявляют токсических свойств в отношении лейкоцитов. Отсутствие признаков гемолиза в отношении эритроцитов также подтверждают отсутствие токсических свойств.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по заданию № 16.1668.2014 / К.

## **СЕКЦИЯ № 19. Теория, конструкция и технология аэрокосмического приборостроения**

Руководитель секции: д.т.н., доцент Жуков А.А.,  
г.н.с. АО «Российские космические системы»

---

### **Основные направления развития конструкций и технологий изготовления современных и перспективных систем управления ракетно-космических комплексов**

Носов М.В.

ФГУП НППАП, г. Москва

Система управления является важнейшей частью любого ракетно-космического комплекса. От совершенства системы управления боевого ракетного комплекса зависят его основные тактико-технические характеристики, такие как точность стрельбы, боеготовность, гибкость боевого применения, стойкость к ядерному воздействию, эффективность преодоления систем ПРО. Системы управления ракет-носителей, разгонных блоков и космических аппаратов полностью определяют точность выведения и оптимальное использование энергетических возможностей с учетом заданных ограничений, обеспечивают необходимую маневренность, спуск и посадку космических аппаратов.

Недостатки созданных СУ:

- высокие габаритно-массовые характеристики аппаратуры СУ;
- высокие требования к эксплуатационным параметрам РН и РБ (герметичность, жидкосные СОТР, виброзащита и т.д.);
- низкое качество применяемой элементной базы и материалов печатных плат;
- высокая трудоемкость изготовления и стоимость конечной продукции;
- низкий уровень автоматизации технологических процессов;
- снятие с производства большого количества применяемых в СУ материалов.

Задачи решаемые при создании современных и перспективных СУ:

- уменьшение габаритно-массовых характеристик СУ в 6-8 раз;
- уменьшение энергопотребления СУ;
- внедрение в производство современных и перспективных технологий (аддитивные, лазерные, адаптивные и др.);
- сокращение количества технологических переделов, применяемых материалов, оборудования и контрольных операций;
- повышение вибро- и удароустойчивости электронных блоков без применения систем амортизации;
- обеспечение кондуктивного отвода тепла от подложки блоков без использования внутренних ЖСОТР и вентиляторов;
- обеспечение возможности работы электронных приборов в условиях космического вакуума;

- уменьшение минимальной ширины проводников и зазоров до 10 мкм по сравнению со 100 мкм для печатных плат 5 класса с возможностью применения нано и МЭМС-элементов;
- повышение надежности, помехозащищенность и быстродействия электронных блоков за счет уменьшения длин связей и отсутствия объемного монтажа от кристаллов;
- улучшение экологии без применения мокрых и высокотемпературных процессов и многократного сокращения времени обработки;
- обеспечение полной автоматизации процесса изготовления электронных блоков;
- изменение качества производственного труда;
- уменьшение в 2-3 раза стоимости изготовления СУ по сравнению с традиционной технологией;
- увеличение сферы применения малогабаритных СУ с обеспечением автоматизированного массового производства.

В докладе рассматриваются основные требования к системам управления современных ракетно-космических комплексов, анализируются основные недостатки эксплуатируемых систем, приводятся технические решения задач, возникающих при создании перспективных СУ.

## **Установка для сборки и испытаний антенных модулей на основе микроминиатюрных многослойных метаматериальных структур**

Аджибеков А.А.

Научные руководители – Алексеев О.А., Жуков А.А.

АО «Российские космические системы», г. Москва

Одно из перспективных применений метаматериалов в антенной технике состоит в сужении диаграммы направленности малогабаритных излучателей при их фиксированных поперечных размерах [1]. Создание антенных модулей для таких излучателей на основе микроминиатюрных многослойных метаматериальных структур в рамках существующих технологий связано с проведением механических операций совмещения слоев модуля, требующих значительных затрат времени.

Существенное сокращение времени совмещения слоев антенного модуля достигается при использовании специально созданного электромагнитного поля. Разработана экспериментальная установка для сборки и испытаний малогабаритных антенных модулей на основе многослойных метаматериальных структур микроминиатюрных кольцевых разомкнутых резонаторов (КРР) [2]. Установка состоит из источника СВЧ излучения с антисимметричной диаграммой направленности, оснастки с совмещаемыми слоями метаматериальных структур и приемного устройства СВЧ сигнала. Совмещение слоев основано на получении минимума сигнала приемным устройством. Принцип работы установки состоит в следующем. Малогабаритный антенный модуль облучается источником СВЧ излучения с антисимметричной диаграммой направленности (ДН), т. е. ДН имеющей глубокий провал в направлении главной оси. В случае идеального совмещения слоев в направлении главной оси системы приемное устройство зафиксирует минимум сигнала. В

случае наличия рассовмещения мощность принимаемого сигнала увеличивается. Проведенный эксперимент показал, что погрешность совмещения слоев в данной установке составила  $\pm 100 \dots 150$  мкм на частоте 27 ГГц, что дает погрешность совмещения слоев относительно длины волны излучаемого сигнала 0,9 ... 1,4%.

Таким образом, разработанная экспериментальная установка позволяет проводить сборку и испытания малогабаритных антенных модулей на основе метаматериальных структур микроминиатюрных кольцевых разомкнутых резонаторов с толщиной слоев между резонаторами от единиц до десятков миллиметров на рабочих частотах от 1 ГГц до 30 ГГц. Технология сборки малогабаритных антенных модулей с использованием данной установки отличается отсутствием механических операций (сверление, установка механических направляющих штырей и т. д.), свойственных существующим технологиям. Установка может быть использована в экспериментальном или мелкосерийном производстве малогабаритных антенных модулей на основе микроминиатюрных многослойных метаматериальных структур.

#### Литература

В.Г. Веселаго, А.А. Жуков, И.Ю. Бредихин А.А. Аджибеков, В.И. Гольякова. Малогабаритная СВЧ-антенна на метаматериалах: пат. 2473157. Российская Федерация. № 2011146626: заявл. 17.11.11; опубл. 20.01.13. Бюл. № 2.

И. Б. Вендик, О.Г.Вендик. Метаматериалы в технике сверхвысоких частот:(обзор) ЖТФ 2013 Т 83 № 1. С.3-28.

### **Разработка методики автоматизированного проектирования исполнительного механизма шасси в САПР CREOPARAMETRIC**

Бабичев С.Г.

Научный руководитель – Баранов П.Н.

МАИ, г. Москва

Обеспечение качества приборов, содержащих в своем составе сложные устройства и их последующая сертификация невозможны без широкого использования на всех этапах их производства современных технологий и оборудования.

В этой связи большое внимание уделяется созданию методик в построении перспективных технологий с широким использованием средств САПР электромеханических узлов.

В докладе представлены результаты разработки методики автоматизированного проектирования в САПР CREOPARAMETRIC, - комплексного решения, позволяющем реализовать сквозной цикл разработки и проектирования электромеханических узлов, прочностные расчеты, моделирование работы привода, включая этап выпуска конструкторской документации по ЕСКД.

Применение САПР CREOPARAMETRIC в разрабатываемом механизме шасси с шарико-винтовой парой обеспечивает ряд преимуществ, проектирования по сравнению с другими средствами САПР электромеханических узлов:

- улучшенные инструменты построения поверхности, причем качество поверхности моделей улучшено за счет функции BoundaryBlend;
- сквозную технологию от разработки или описания кинематической схемы до подготовки механизма к производству;
- непревзойденные возможности работы с данными различных систем CAD;
- эффективные инструменты диагностики и анализа;
- широкий спектр пользовательских настроек;
- коллективную работу над единым проектом.

Сущность разработанной методики заключается в последовательном алгоритме проектирования от описания кинематической схемы с применением инструментов диагностики и анализа и адаптированных к проекту пользовательских настроек САПР, до решения задач подготовки проекта к производству.

Апробация разработанной методики проектирования исполнительного механизма в САПР CREOPARAMETRIC показала перспективность данного САПР для сквозного проектирования.

## **Оценка точности параметров взаимодействия математической модели технологического процесса МОС-гидридной эпитаксии**

Баимова А.В.

Научный руководитель – Могильная Т.Ю.

МАИ, г. Москва

В настоящее время эпитаксиальные полупроводниковые структуры находят широкое применение при изготовлении новых типов лазеров, в частности кольцевых полупроводниковых лазеров, транзисторов и элементов микромеханики.

Наиболее перспективным и развивающимся методом получения эпитаксиальных слоев полупроводниковых соединений является МОС-гидридная эпитаксия. Популярность МОС-гидридной эпитаксии обусловлена возможностью создания квантово-размерных слоев сложной геометрии, являющихся основой наноприборов. Наличие ростовых напряжений и дислокаций несоответствия на границах слоев гетероструктур (ГС) приводит к неравномерному росту ГС и образованию толстых переходных слоев, а также оказывает значительное влияние на увеличение скорости деградации. Предварительный расчет параметров роста (нагрева, скорости подачи компонент реакции, температуры, состава газовой смеси, и т.д.) эпитаксиальных слоев позволяет значительно улучшить качества гетероструктур.

При получении расчетных зависимостей между композицией газовой смеси, температурой осаждения и составом растущего твердого соединения необходимо принимать во внимание взаимодействие используемых газовых смесей между собой. При этом следует учитывать, тот факт, что экспериментальных данных по параметрам активности при высоких температурах не существует, поэтому для выращивания соединения требуемого состава проводят предварительное моделирование данных величин. Такие системы принято моделировать в типовых приближениях, полагая, что

коэффициент активности можно представить в виде многочлена  $n$ -й степени, зависящего от температуры и состава, при этом, как и в обычной термодинамике, предполагается, что в газовой фазе он постоянен.

В данной работе была усовершенствована математическая модель технологического процесса выращивания гетероэпитаксиальных структур методом МОС-гидридной эпитаксии. В приближении простых растворов проведено моделирование параметров взаимодействия элементов третьей и пятой группы, с целью построения процессов роста при высоких температурах и скоростях реакций. Показано, что существует набор составов и температур исходных компонент, который позволяет получить у границы раздела фаз равновесный состав, как в газовой, так и в твердой фазе.

Полученные в результате моделирования параметры взаимодействия в дальнейшем планируется использовать для построения фазовых диаграмм.

### **Радиационно-стойкие линейные стабилизаторы напряжения со сверхнизким падением напряжения для ракетно-космической техники**

Беляев Е.Д.

Научный руководитель – Школьников В.М.

МАИ, г. Москва

Всеобъемлющая интеллектуализация борта является устойчивой тенденцией, которая накладывает свой отпечаток на концепцию создания радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов.

В бортовой аппаратуре космических аппаратов (подсистеме сигнальной обработки, центральном бортовом компьютере, аппаратуре ввода-вывода информации и др.) широко применяются высокопроизводительные специальные процессоры, а также ПЛИС с низким напряжением питания и большим током потребления. Эти цифровые микросхемы, с точки зрения электропитания, являются мощными и динамичными. Для их питания, как правило, используются эффективные импульсные преобразователи. Однако применение этих преобразователей связано с такими недостатками, как влияние шумов. В результате предпочтение зачастую отдаётся линейным стабилизаторам напряжения с небольшим падением напряжения.

Специфическим и одним из важнейших требований к электронным компонентам, предназначенным для применений в составе аппаратуры космических аппаратов, является радиационная стойкость, которая во многом определяет вероятность безотказной работы бортовых систем и, как следствие, длительность срока активного существования (САС) космических аппаратов (в настоящее время стоит задача обеспечения САС космических аппаратов в течение 10–15 лет). Для обеспечения питанием СБИС и ПЛИС, требовательных к уровню шумов, в данном докладе предлагаются радиационно-стойкие (RADHard) линейные стабилизаторы напряжения (LCH) со сверхнизким падением напряжения (ULDO), исполненные по интегрально-гибридной технологии с применением КМОП микросхемы типа «кремний на изоляторе».

Стабилизация напряжения в стабилизаторе с последовательным включением РЭ осуществляется посредством автоматического изменения его сопротивления

под действием управляющего сигнала, называемого сигналом ошибки. Сигнал ошибки формируется с помощью усилителя ошибки на основании сравнения части выходного напряжения стабилизатора и напряжения источника опорного напряжения. Изменения входного напряжения или тока нагрузки приводят к соответствующему изменению сопротивления РЭ и падению напряжения на нём. Для нормальной работы стандартного интегрального стабилизатора входное напряжение должно превышать выходное напряжение по крайней мере на 3 В.

В данном докладе рассмотрены преимущества и недостатки радиационно-стойких линейных стабилизаторов напряжения со сверхнизким падением напряжения для ракетно-космической техники.

### **Применение метода сплайн-функций в алгоритмах компенсации температурных погрешностей чувствительных элементов БИНС**

Бобкова К.А.

Научный руководитель – Акилин В.И.

МАИ, г. Москва

В настоящее время основными источниками навигационной информации в процессе полета летательных аппаратов (ЛА) являются бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС). К числу ведущих предприятий, осуществляющих разработку и создание БИНС авиационного назначения, относится АО «Московский институт электромеханики и автоматики» («МИЭА»), который начал работу по проектированию инерциальных навигационных систем с 60-х годов прошлого века.

Итогом работы АО «МИЭА» в течение последних лет в данной области явилось создание для перспективных ЛА БИНС двух классов точности, соответствующих по техническим характеристикам изделиям ведущих зарубежных стран. В частности, погрешность определения координат в автономном инерциальном режиме при полете ЛА не должна превышать 1,85 км за каждый час полета, а погрешность определения путевой скорости ( $W$ ) и ее составляющих: северной ( $V_n$ ) и восточной ( $V_e$ ) должна быть не более 1,0 м/с.

Наиболее существенный вклад в суммарную погрешность БИНС вносят ее чувствительные элементы: акселерометры и кольцевые лазеры. В свою очередь одной из основных проблем в достижении требуемой точности чувствительных элементов БИНС в реальных условиях эксплуатации, является зависимость их точностных характеристик от температуры окружающей среды. Это вызывает необходимость использования алгоритмических методов компенсации температурных погрешностей кольцевых лазеров и акселерометров в составе системы, т.к. температурные погрешности при автономной проверке субблоков могут значительно отличаться от погрешностей, полученных при работе в системе. В настоящее время в АО «МИЭА» ведутся работы по совершенствованию алгоритмов, программ и методик компенсации температурных погрешностей инерциальной навигационной системы.

В докладе рассмотрена методика компенсации температурных погрешностей чувствительных элементов БИНС – кольцевых лазеров и акселерометров – в процессе функционирования системы, реализующая метод сплайн-функций.

Рассмотренная методика алгоритмической компенсации температурных погрешностей чувствительных элементов позволяет существенно снизить суммарную погрешность БИНС в процессе ее работы во всем диапазоне температуры окружающей среды.

### **Разработка принципиальной схемы автоматизированной установки для измерения моментных характеристик в приборных шарикоподшипниках**

Брулев А.Г.

Научный руководитель – Молодницкий В.И.

МАИ, г. Москва

Важность контроля подшипников для гироскопических приборов необходим качественный контроль шарикоподшипников главных опор приборов. Подшипниковая промышленность изготавливает подшипники класса А и С. Технология подготовки контроля подшипников состоит в следующем:

- Расконсервация
- Входной контроль рабочей поверхности подшипников
- Проверка жесткости для подбора равножесткой пары
- Измеряемая величина контактных углов шарикоподшипников
- Измерение моментов в подшипниках (Контроль на малых оборотах и на рабочей нагрузке)
- Промывка подшипника по специальной технологии перед сборкой

Особую значимость представляет собой контроль моментов трения шарикоподшипников на специальном приборе (Функциональная схема измерения МВП).

Испытуемый шарикоподшипник устанавливается в сменной оправке, приводимой во вращение с частотой 2 об/мин двигателем с помощью пассика. Осевая нагрузка от 0 до 20 Н, создаваемая пружиной, передается через рычажный механизм, струну и сменную оправку на внутреннее кольцо шарикоподшипника. Изменение нагрузки производится с помощью винтовой пары. Выставка нуля измерения производится закруткой струны рукояткой. Оправка связана датчиком угла, который связан обратной связью с датчиком момента.

Работает измеритель следующим образом. После включения двигатель через пассик поворачивает наружное кольцо испытуемого подшипника. Момент трения в подшипнике увлекает внутреннее кольцо в направлении вращения. Датчик угла фиксирует вращение. Возникающий в нем сигнал после усиления и преобразования в виде постоянного тока поступает в датчик момента, который создает момент компенсирующий измеряемый момент, являясь электрическим аналогом мгновенного значения измеряемого момента, поступает в АЦП и далее в компьютер.

Данный прибор позволяет оценить диссипативные моменты трения и консервативные (Диссипативные моменты трения, всегда препятствуют вращению и их направление изменяется на противоположное при реверсировании движения, активные или консервативные моменты при реверсировании сохраняют свое направление и, если при малых угловых

колебаниях подшипника момент трения усредняется, то консервативные моменты остаются практически неизменными).

Таким образом указанная методика позволяет на стадии подготовки выбирать для сборки приборов шарикоподшипники, имеющие наименьший дефект, что дает возможность прогнозирования надежной работы шарикоподшипников в прецизионных приборах.

### **Исследование точностных характеристик лазерных чувствительных элементов при испытании**

Волков С.И., Фомичев И.М.

Научный руководитель – Акилин В.И.

МАИ, г. Москва

В условиях серийного производства чувствительных элементов навигационных систем важная роль принадлежит их испытаниям, в процессе которых выявляются их параметрические и функциональные отказы.

Параметрические отказы связаны с точностными характеристиками трехступенного поворотного испытательного стенда. Требования к точности расположения измерительных осей блока чувствительных элементов предъявляют жесткие ограничения к конструкции испытательного оборудования. В докладе анализируются: методика калибровки блока чувствительных элементов и его контроль на испытательном стенде, в результате чего возникает накопленная погрешность.

Одной из причин функциональных отказов блока чувствительных элементов является разгерметизация кольцевого лазера. Проблема существует из-за несовершенной технологии пайки алюминиевых электродов с корпусом кольцевого лазера изготовленного из ситалла. Данные отказы приводят к полной неработоспособности системы.

Для устранения параметрических отказов предложено применить для контроля и калибровке блока чувствительных элементов прецизионных комплекс фирмы «Акутроник», что позволит осуществлять данные операции с требуемой точностью и избежать значительных по величине накопленных погрешностей.

Для устранения функциональных отказов, а именно разгерметизация кольцевого лазера, предложено внедрить электростатическую сварку алюминиевых электродов с корпусом кольцевого лазера, изготовленного из ситалла, что позволяет избежать указанных отказов чувствительных элементов в составе блока чувствительных элементов.

### **Исследование метода компенсации дрейфа микромеханических гироскопов в рабочем режиме**

Воробьев Д.Н.

Научные руководители – Акилин В.И., Галкин В.И.

МАИ, г. Москва

В настоящее время в России и за рубежом активно проводятся работы по созданию приборов и систем летательных аппаратов на базе микромеханических

датчиков. Основными преимуществами таких измерительных устройств являются их малые габариты, высокие надежность и долговечность, низкое энергопотребление, хорошие вибро- и ударная устойчивость, низкая стоимость. К недостаткам следует отнести их сравнительно невысокую точность и существенную зависимость выходных параметров от условий окружающей среды, в первую очередь – температуры.

В настоящее время разрабатываются приборы на базе микромеханических чувствительных элементов, предназначенные для комплексных пилотажных систем управления широкого класса летательных аппаратов.

Несмотря на тщательную калибровку микромеханических гироскопов в заводских условиях и алгоритмическую компенсацию систематических составляющих в процессе эксплуатации гироскопа, всегда имеет место недокомпенсированная величина нулевого сигнала, вызванная случайной составляющей дрейфа, температурным гистерезисом, изменением систематической составляющей от запуска к запуску. Задача компенсации этих остаточных явлений является весьма актуальной для улучшения точностных характеристик гироскопа.

В настоящем докладе исследуется метод компенсации дрейфа, включающий фильтрацию измеряемого сигнала, установку граничных условий учета компенсирующей величины, формирование компенсирующего сигнала с учетом его прогнозирования по предыдущим измерениям и соответствующая коррекция выходного сигнала гироскопа.

Разработан метод компенсации систематической составляющей дрейфа, включающий ее прогнозирование, оценку поправки и компенсацию.

Математическое моделирование алгоритма позволило выбрать оптимальные значения коэффициентов и установить граничные условия при выборе поправок.

Экспериментальные исследования показали, что реализация разработанного метода компенсации дрейфа гироскопа в рабочем режиме, позволила снизить его величину более, чем на порядок.

## **Разработка 3D -модели вертикального реактора для процесса МОС-гидридной эпитаксии**

Газизова А.Ю.

Научный руководитель – Могильная Т.Ю.

МАИ, г. Москва

В настоящее время благодаря малым размерам и возможности высокочастотной модуляции полупроводниковый лазер представляет собой один из перспективных источников излучения для волоконно-оптических систем связи. В этих полупроводниковых лазерах используются эпитаксиальные гетероструктуры (ГС). Параметры ГС сильно зависят от параметров технологического процесса. Наиболее перспективным и развивающимся методом получения эпитаксиальных слоев полупроводниковых соединений является метод МОС-гидридной эпитаксии. Важной задачей является улучшение параметров процесса получения ГС. Задача осложняется тем, что существующие МОС-гидридные установки не позволяют получить оптимальные параметры ГС для приборов нового типа, например, для

кольцевых полупроводниковых лазеров, которые имеют перспективные применения в областях, связанных с разработкой лазерной гироскопии. В связи с этим, в рамках данного исследования производилось моделирование потока газовой смеси с учетом особенностей геометрии и параметров теплосъема подложки.

Управление композицией выращиваемых слоев заключается в управлении композицией газовой смеси и в поддержании определенной температуры подложкодержателя и давления в реакторе. Требуемая для выращивания композиция газовой смеси, формируется подмешиванием к потоку водорода дозированных малых потоков активных газов-паров металлоорганики и гидридов.

Расчетные зависимости между композицией газовой смеси, температурой осаждения, давлением в реакторе и составом растущего твердого соединения, в настоящее время являются ноу-хау любой фирмы, и в открытой литературе не приводятся. Поэтому для выращивания соединения требуемого состава проводят предварительное моделирование реактора, где устанавливают зависимости между композицией газовой смеси, температурой, давлением в реакторе и составом твердого соединения, который определяют посредством различных измерений после выращивания слоя, а также геометрические параметры реактора.

В данной работе была исследована математическая модель вертикального реактора для МОС-гидридной эпитаксии, выполнено 3D-моделирование реактора в программной среде SolidWorks и проведены расчеты в программном пакете Flow Simulation для ряда гидридов, с целью определения основного приближения для построения модели в программной среде Ansys.

Результаты моделирования, представленные на рисунке 1, показали, что, несмотря на высокие скорости, поток остается ламинарным в области роста гетероструктур. Для дальнейших расчетов можно ограничиться решением задач в диффузионном приближении.

## **Технологические методы повышения точностных параметров кварцевых акселерометров**

**Денисов С.Ю., Смирнов А.А.**

**Научный руководитель – Акилин В.И.**

**МАИ, АО «МИЭА», г. Москва**

В настоящее время к основным информационным комплексам, используемым для управления полётом летательных аппаратов (ЛА) различного назначения, относятся бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС). В качестве чувствительных элементов, применяемых в данных БИНС, и служащих для получения первичной информации о действующих на ЛА линейных ускорениях, используются «сухие» кварцевые маятниковые акселерометры.

В связи с резким повышением объема выпуска акселерометров в ближайшие годы, определяемым существенным ростом количества выпускаемых ЛА, возникает проблема стабилизации выходных параметров данных приборов, полученных после их изготовления в условиях серийного производства. Эта проблема усугубляется тем, что прибор имеет неразборную конструкцию.

В целях решения проблем получения достоверных параметров и их стабилизации, полученных после их изготовления в условиях серийного производства, а, следовательно, повышение их точности в условиях эксплуатации, были предложены следующие мероприятия:

- осуществление контроля прибора с помощью компьютерно управляемого автоматизированного рабочего места (АРМ), которое предполагает осуществлять контроль выходных параметров приборов через равные промежутки времени при непрерывном изменении температуры в термокамере с испытуемым прибором по алгоритму, задаваемому управляющим устройством АРМ, что исключает ошибку оператора. При этом скорость изменения температуры в термокамере приближена к скорости изменения температуры моноблока БИНС в процессе её функционирования, так как применяемая в настоящее время в серийном производстве технология контроля выходных параметров акселерометров заключается в снятии выходных сигналов приборов, находящихся в фиксированных температурных точках окружающей среды, что не соответствует их рабочим условиям при функционировании в составе БИНС.

Данная методика реализуется следующим образом. Акселерометр, закрепленный в технологическом приспособлении и помещенный в термокамеру, подвергают воздействию температуры по циклу, задаваемому устройством управления АРМ. В процессе изменения температуры по установленному алгоритму через определённые промежутки времени осуществляют последовательно развороты прибора в его рабочие положения. В каждом из положений акселерометра осуществляют контроль выходных параметров акселерометра. Перед проведением контроля выходных параметров прибора в каждом положении акселерометра осуществляют выдержку в течение определённого времени для завершения переходного процесса. При проведении всего термовоздействия в режиме реального времени осуществляют запись выходных сигналов с акселерометра и термодатчика.

- проведение технологической приработки собранных приборов, заключающейся в воздействии на них температуры окружающей среды по следующему алгоритму: первоначально прибор охлаждался до  $-60^{\circ}\text{C}$ , далее нагревался до температуры  $+85^{\circ}\text{C}$ , затем воздействия прекращались. После воздействия на прибор каждого термоцикла с помощью АРМ проводится контроль выходных параметров акселерометров. Как показал анализ статистической обработки исследуемой партии акселерометров, по мере проведения очередного термоцикла средняя нестабильность параметров снижается, и после проведения 4-го он уже снижается не столь значительно, а непосредственно величина погрешности становится близка к погрешности её определения, поэтому проведение большего количества термоциклов нецелесообразно,

- создание методики алгоритмической компенсации систематической составляющей температурной погрешности акселерометров, заключающейся в аппроксимации изменения выходных параметров приборов от температуры окружающей среды полиномом вида  $y = ax^6 + bx^5 + cx^4 + dx^2 + ex + fx + g$ , исходя из условия получения допустимой остаточной величины погрешности прибора; в уравнении полинома  $y$  – поправка к выходному сигналу акселерометра, вытекающая из данного полинома,  $a, b, c, d, e, f, g$  – коэффициенты,  $x$  – величина

температуры окружающей среды; коэффициенты полученного полинома заносятся в программу обработки информации вычислительным устройством БИНС.

Проведённые мероприятия позволяют значительно сократить время контроля выходных параметров прибора, осуществить компенсацию основной части систематической составляющей их температурной погрешности и снизить средний разброс нестабильностей выходных параметров акселерометров: нулевого сигнала более чем в 2 раза, масштабного коэффициента почти более, чем в 1,5 раза, а погрешности базы – более, чем в 3 раза.

### **Влияние погрешностей сборки лазерного резонатора кольцевого лазера на дифракционные потери и селективность мод**

Зарьева А.А.

Научные руководители – Савельев И.И., Могильная Т.Ю.  
МАИ, АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», г. Москва

В бесплатформенных инерциальных навигационных системах современных летательных аппаратов широко применяются кольцевые лазерные гироскопы [1], принцип действия которых основан на эффекте Саньяка, заключающемся в появлении фазового сдвига встречных световых волн при вращении кольцевого интерферометра. Особое место среди них занимают зеэмановские лазерные гироскопы, в которых используются лазеры с неплоскими резонаторами. Отсутствие движущихся частей в зеэмановских лазерных гироскопах обуславливает их высокую устойчивость к механическим воздействиям и возможность их использования в высокоманевренных аппаратах.

Кольцевой лазер состоит из оптического резонатора, активной среды и некоторого набора внешних устройств. Оптический резонатор образован несколькими отражающими поверхностями - зеркалами. Особенностью неплоских резонаторов является их высокая устойчивость к разъюстировкам зеркал. Поэтому резонаторы кольцевых зеэмановских лазеров собираются без юстировки, при этом возникает заметный разброс по дифракционным потерям и селективности мод в таких резонаторах.

Целью данной работы является оценка влияния погрешностей сборки на эти параметры в зависимости от уровня потерь и рассеяния используемых зеркал. Был проведен анализ измеряемых параметров зеркал после сборки резонаторов, с целью определения влияния их на дифракционные потери и селективность мод.

В настоящем докладе показаны результаты исследования для одного из типов неплоских резонаторов на основе данных выпуска за 2015 год. Представленные графики зависимостей построены при помощи специального программного обеспечения. На основании проведенных исследований уточнены требования к уровню потерь используемых зеркал и сформулированы рекомендации по улучшению качества сборки.

Литература

Азарова В.В., Голяев Ю.Д., Савельев И.И. Зеэмановские лазерные гироскопы. Квантовая электроника, 45, 2015г.

## **Исследование амортизационной системы блока чувствительных элементов бесплатформенной инерциальной навигационной системы**

Илиеш Д.В.

Научный руководитель – Акилин В.И.

МАИ, г. Москва

Определение положения летательного аппарата в пространстве является одной из важнейших задач пилотирования. Одной из систем успешно решающей данную задачу, является бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС). Главными задачами БИНС являются формирование пилотажно-навигационной информации, комплексное преобразование её к виду, удобному для использования при управлении полётом летательного аппарата.

К числу важнейших блоков БИНС блок чувствительных элементов (БЧЭ), предназначенный для выработки первичной информации о проекциях приращений углов разворота летательного аппарата и его линейных ускорений на три взаимно перпендикулярные оси приборной системы координат. Важным элементом БЧЭ является амортизационная система, которая способствует выходу на нормальный режим работы лазерного гироскопа в момент включения и предохраняет БЧЭ от ударов и внешней вибрации.

Автором проводятся работы, связанные с разработкой и исследованием новых амортизаторов для БЧЭ. Главной задачей при создании амортизатора было добиться равно жёсткости в продольных и поперечных направлениях деформации. Для выполнения данной задачи на торцевую поверхность амортизатора были нанесены дополнительные канавки тем самым изменив резиновый профиль.

В исследованиях участвовала партия из 16 амортизаторов. Результатами исследований явилось: определение коэффициентов жёсткости в продольном и поперечных направлениях и собственных резонансных частот. Были определены закономерности изменение жёсткости под воздействием критических температур, отработаны методики проведения измерений параметров амортизаторов на критических температурах. В ходе исследований было проверено предположения о переходе амортизаторов в разные группы жёсткости с течением времени при хранении и определено старение под воздействием критических температур.

В рамках доклада будут представлены методики проведения измерений жёсткостных параметров и резонансных частот амортизаторов, рассказано о особенностях измерений при воздействии критических температур, проанализированы полученные результаты жёсткостных параметров амортизаторов в продольном и поперечном направлениях, скорости старения под воздействием перегрузок и критических температур.

## **Разработка системы автоматизированного контроля электронных модулей**

Иринец С.П.

Научный руководитель – Баранов П.Н.

МАИ, г. Москва

На сегодняшний день на предприятиях приборостроения повсеместно ведется работа по автоматизации сборочных процессов с целью обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции на рынке товаров, получения экономического эффекта за счет повышения производительности и качества процессов, устранения ошибок, связанных с человеческим фактором.

В этой связи важной задачей технологии приборостроения является разработка автоматизированного измерительного оборудования для контроля параметров электронных модулей, в частности переходных сопротивлений в базовых точках устройства. Оборудование такого типа представляет собой устройство, снабженное щупами для электрического контакта с зонами контроля для определения сопротивлений, токов, напряжений и других электрических параметров.

В рамках настоящего доклада рассматриваются итоги разработки структурной схемы, алгоритмов функционирования и конструкции автоматизированной компьютерно-управляемой измерительной системы, построенной на основе микроконтроллерного модуля, коммутируемого и управляемого персональным компьютером. Система предназначена для передачи, сбора и обработки измерительных данных о переходных сопротивлениях приборной электромеханической системы.

Система разрабатывается для конкретной производственной задачи: контроля входных сопротивлений до 1024 контактов в диапазоне от 0,001 до 1 Ом, с возможностью дальнейшего расширения количества измеряемых параметров за счет модульного построения до 10000 контактов.

В докладе приводятся также результаты исследований, направленных на создание программируемого эталонного источника тока. Показано, что использование такого источника в создаваемой автоматизированной компьютерно-управляемой измерительной системе позволит расширить диапазон измерения сопротивлений в несколько раз.

Рассмотрены перспективы развития измерительной системы для контроля других электрических параметров, таких как комплексные сопротивления, сопротивление изоляции, параметры гармонических и импульсных сигналов, в электромеханических системах.

## **Разработка алгоритма самотестирования КПА**

Калинин Е.А.

Научный руководитель – Гребенюк Е.И.

МАИ, г. Москва

Качество изготовления интегрированных информационных систем (ИИС) беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) обеспечивается развернутой системой контроля на всех этапах производства и широкомасштабными

испытаниям, завершающими производственный цикл. В современных производственных условиях получили широкое применение комплексы контрольно-проверочной аппаратуры (КПА) для наземного контроля исправности бортовых систем беспилотных летательных аппаратов, оснащенных автономной системой управления на базе вычислительных средств [1-3].

Для контроля функционирования ИИС БПЛА в различных режимах механических, климатических и специальных испытаний была разработана КПА, предназначенная для коммутации выходных сигналов, преобразования информационного сигнала ИИС БПЛА по совокупности цепей в цифровую форму, дальнейшей оценки их соответствия требованиям нормативно-технической документации и выдачи соответствующих протоколов в автоматизированном режиме. Управление процессом проверки производится с помощью системы и практически без вмешательства оператора.

Для обеспечения надежности процесса контроля и достоверности его результатов требуется проверка исправности самой КПА.

В докладе приводится структура алгоритма самотестирования КПА, результаты самотестирования, анализируются технологический процесс испытаний, приводятся экспериментальные данные по результатам проведенной работы.

Самотестирование КПА может проводиться в двух режимах: «короткий» тест и «длинный» тест. Короткий тест предназначен для проверки принципиальной работоспособности КПА перед проверкой ИИС. При тестировании в режиме «короткого» теста отключено питание изделия или имитатора изделия, проверяется только работоспособность АЦП, проверка цепей питания имитатора изделия. Тестирование в режиме «длинного» теста проводится при отключённом изделии и замыкании всей системы коммутации на КПА. После замыкания коммутации и подачи питания на коммутатор изделия происходит считывание значений регистров имитатора, анализ и сверка с допусками. После обработки сигналов, полученных с имитатора изделия, и сравнения их значений с установленными в документации делают вывод о работоспособности внутренних схем КПА. Самотестирование КПА позволяет обеспечить достоверность получаемых с ИИС данных и, следовательно, в значительной мере повысить качество процесса технологического контроля.

#### Литература

1. Коржавин Г.А. и др. Комплекс контрольно-проверочной аппаратуры бортовых систем беспилотного летательного аппарата. Патент на полезную модель G01S№: 56662 ОАО "Концерн "Гранит-Электрон" (RU), Дата публикации: 10.09 2006.

2. Никольцев В.А. и др. Комплекс для проверки бортовых систем беспилотного летательного аппарата. Комплекс контрольно-проверочной аппаратуры бортовых систем беспилотного летательного аппарата Патент на полезную модель G01S7/40№: 2205441 ОАО "Концерн "Гранит-Электрон" (RU), Дата публикации: 27.05.2003.

## **Разработка информационного обеспечения системы менеджмента качества при производстве автоматических радиокompасы**

Карпушин А.А.

Научные руководители – Гребенюк Е.И., Родичев А.И.

МАИ, г. Москва

Концептуальной основой Международных стандартов в области качества ИСО 9000 является система менеджмента качества (СМК) предприятия, в рамках которой организация создает, обеспечивает и улучшает качество продукции и услуг, организуя и управляя своими процессами, которые должны подвергаться анализу и постоянному улучшению. В стандартах качества серии ГОСТ Р ИСО 9000 есть требования к информационному обеспечению СМК, необходимому для поддержки процессов, составляющих СМК, и их мониторинга. Указывается, что руководству необходимо обращаться с данными как с фундаментальным источником для преобразования в информацию и постоянного развития базы знаний организации, которая важна для принятия решений, основанных на фактах.

В связи с этим информационное обеспечение СМК современного приборостроительного предприятия, выпускающего наукоемкую продукцию и, в частности автоматические радиокompасы (АРК), является весьма актуальной задачей. Особенностью производства АРК является не только многоэтапный техпроцесс их изготовления, сборки, испытаний в рамках самого предприятия, но и сложные информационные, материальные потоки, связывающие производство с многочисленными поставщиками комплектующих и не менее многочисленными потребителями. Это ставит задачу управления качеством как многовариантную, зависящую от значительного числа факторов.

Цель настоящей работы – создание подсистемы информационного обеспечения отдела гарантийного ремонта производимых в рамках СМК АРК для решения задачи взаимодействия с потребителями и постоянного улучшения производственного процесса.

В предлагаемом докладе рассматриваемая база данных, которая была специально разработана для приборостроительного предприятия в среде MSAccess 2007.

Для сортировки данных и быстрого поиска конкретного прибора база данных позволяет использовать ряд специализированных запросов: год выпуска, дата выпуска, потребитель, номер изделия и его шифр.

С целью формирования статистических данных по отказам приборов и проведения аналитики по взаимосвязи несоответствий АРК и факторам технологического процесса, база данных оснащена разделом "статистика". Этот раздел состоит из графиков и диаграмм отображающих актуальную информацию на основе текущих записей в базе.

Внедрение разработанной базы данных будет способствовать постоянному улучшению взаимодействия предприятия с потребителями, а содержащаяся в ней информация по несоответствиям будет использоваться для постоянного совершенствования СМК технологического процесса производства АРК.

## **Разработка и исследование методик регулировки и калибровки малогабаритного цифрового блока лазерных гироскопических датчиков**

Козлова Е.С., Шарапов И.А.

Научные руководители – Акилин В.И., Крузе С.В.

МАИ, АО «МИЭА», г. Москва

Основным средством навигации современных летательных аппаратов являются бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС). В качестве датчиков угловых скоростей в большинстве современных БИНС средней и высокой точности применяются лазерные гироскопические датчики (ЛГД). С участием авторов была разработана и внедрена в серийное производство линейка БИНС различного назначения на базе ЛГД.

С целью уменьшения габаритов и массы была разработана новая навигационная система, основным чувствительным элементов которой является малогабаритный цифровой блок лазерных гироскопических датчиков (БЛГД) с КЛ, обладающим почти в два раза меньшим периметром оптического контура. Характерной особенностью БЛГД является его цифровая архитектура. Каждый из трёх гироскопических каналов является практически полностью функционально независимым, в его состав входит блок плат с микроконтроллером и программируемой интегральной логической схемой (ПЛИС). Выходная информация БЛГД не требует какой-либо обработки, она содержит приращение угла с учётом температурной коррекции и может сразу же использоваться вычислителем БИНС. Передача информации осуществляется по цифровым линиям со стандартным интерфейсом RS422.

Учитывая цифровую архитектуру изделия, были разработаны методики регулировки и калибровки БЛГД, позволяющие обеспечить полную проверку его функциональных и точностных характеристик. Принципиально новой для данных методик является операция занесения индивидуальных параметров кольцевых лазеров в блок электронных плат соответствующего канала БЛГД. Данная операция выполняется с использованием персонального компьютера и программаторов. Подобный метод калибровки имеет преимущества по сравнению с ЛГД предыдущего поколения, в составе которых были реализованы аналоговые схемы, требующие физической подстройки, например, путём подбора калиброванных резисторов и установки проводных перемычек.

В докладе излагаются методики калибровки и регулировки БЛГД, проводятся результаты их применения при регулировке опытных образцов малогабаритного цифрового блока лазерных гироскопических датчиков. Показаны преимущества данных методик, снижающие нагрузку на оператора и общее время технологического цикла.

## **Исследование температурной стабильности микромеханических гироскопов**

Кондратьев А.В.

Научные руководители – Акилин В.И., Галкин В.И.

МАИ, г. Москва

Совершенствование конструкции и технологии изготовления микромеханических гироскопов позволило существенно улучшить их точностные характеристики. Так, если микромеханические гироскопы американской фирмы Analog Device выпуска 1995 года имели нестабильность нулевого сигнала 500 °/ч, то в 2015г. отечественной фирмой АО «ЦНИИ» «Электроприбор» получены образцы микромеханических гироскопов со стабильностью нулевого сигнала порядка 10 °/ч. Норвежской фирмой поставляется на мировой рынок трехосный микромеханический гироскоп STIM210 со стабильностью нулевого сигнала 0,5 °/ч, а французской фирмой Sagem – одноосный микромеханический гироскоп GM1180 со стабильностью нулевого сигнала 0,2 °/ч. Более того, имеются сведения, что фирмой Sensorop разрабатывается микромеханический гироскоп со стабильностью нулевого сигнала 0,04 °/ч. Однако, эти характеристики получены при неизменной температуре окружающей среды.

Чтобы достичь таких точностей на практике, необходимо скомпенсировать нулевой сигнал до этого уровня в условиях изменения температуры окружающей среды от (-60) °С до (+75) °С и учесть его изменение от запуска к запуску.

С этой целью были разработаны методики калибровки микромеханических датчиков и алгоритмы учета изменения нулевого сигнала от температуры и от запуска к запуску.

Для компенсации температурной зависимости на этапе технологической отладки проводится калибровка датчиков, и полученные значения калибровочных коэффициентов заносятся в память микроконтроллера для дальнейшей алгоритмической компенсации в процессе полета.

Разработанные методики компенсации погрешности учитывают различный характер изменения температурной зависимости от запуска к запуску.

Эксперименты показали, что предложенные методики и алгоритмы позволяют снизить температурную нестабильность в запуске в 10 раз, а нестабильность от запуска к запуску в несколько раз.

## **Исследования технологического процесса автоматизированной сборки электронных блоков в условиях опытного производства**

Короткова А.С.

Научный руководитель – Акилин В.И.

МАИ, г. Москва

Современные ОКБ, занимающиеся разработкой авионики в условиях опытного производства, сталкиваются с проблемой многономенклатурности изделий (электронных блоков) и с необходимостью внедрения современных технологий сборки. В связи с этим на таких предприятиях возникла задача

автоматизации технологии. Данная задача, применительно к производственной базе МНПК «Авионика», который является одним из признанных лидеров в области российского авиационного приборостроения, проявляется в полной мере.

Автоматизация производства – основа развития современной промышленности, генеральное направление технического прогресса. Цель автоматизации производства заключается в повышении эффективности труда, улучшении качества выпускаемой продукции, в создании условий для оптимального использования всех ресурсов производства. Различают следующую автоматизацию производства: полная автоматизация, ручная сборка, малая автоматизация и автоматические линии. Отличия данных степеней автоматизации заключаются в скорости и стоимости процессов. Для опытного производства характерна автоматизация процессов, которые повторяются из раза в раз. Все процессы автоматизировать не целесообразно, так как это приводит к увеличению затрат и уменьшению производительности. Автоматизации подвергаются только трудоёмкие процессы.

При автоматизации процессов сборки электронных блоков применительно к опытному производству МНПК «Авионика», использовано следующее оборудование участка поверхностного монтажа: автомат нанесения паяльной пасты методом дозирования, полуавтоматический установщик компонентов на поверхность печатной платы, конвейерная конвекционная печь оплавления.

Метод дозирования применяется для опытного производства и мелкосерийного производства, ремонтных работ и при широкой номенклатуре. Особенности данного метода являются гибкость производства, низкая производительность, необходимость программирования, экономия средств, за счет отсутствия необходимости изготовления трафарета и меньшего количества отходов. Точечное нанесение паяльной пасты на поверхность печатной платы осуществляется в автоматическом режиме в соответствии с заданной программой.

Особенностями процесса установки компонентов с помощью полуавтоматического установщика компонентов на поверхность печатной платы являются универсальность (может работать как ручной), программирование, средняя производительность, человеческий фактор сводится к минимуму. Установка компонентов программно контролируется, но осуществляется оператором, метод переноса от питателя осуществляется при помощи вакуумного пинцета, который обеспечивает плавное перемещение по осям X, Y, Z. Оператор вручную размещает компоненты на посадочных местах, координаты которых указываются компьютером.

Конвейерная конвекционная печь оплавления позволяет осуществить групповую пайку компонентов в соответствии с заданным термопрофилем.

В данном докладе рассмотрены преимущества и недостатки методов автоматизации технологического процесса сборки электронных блоков применительно к опытному производству МНПК «Авионика».

## **Разработка конструкции и технологии изготовления виброподвеса для малогабаритного кольцевого лазера**

Кривопапов Д.М.

Научные руководители – Акилин В.И., Кудасов С.В.

МАИ, АО «МИЭА», г. Москва

Из анализа современных тенденций развития бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС) можно сделать выводы, что наиболее актуальным направлением является разработка БИНС на лазерных гироскопах (ЛГ).

Важнейшей частью лазерного гироскопа является кольцевой лазер (КЛ), оптико-физические параметры которого во многом определяют точностные и эксплуатационные характеристики лазерного гироскопа.

При создании перспективных БИНС важную роль играют их массогабаритные характеристики при сохранении точности. В связи с этим идут разработки по созданию новых малогабаритных кольцевых лазеров (МКЛ), на базе которых возможно построение малогабаритных БИНС. По точности МКЛ отстает от КЛ, но со временем, развитие технологии будет способствовать тому, что МКЛ сможет сравняться по точности с КЛ.

При реализации ЛГ обычно применяются меры по устранению так называемой «синхронизации» встречных волн, приводящих к появлению зоны нечувствительности в области малых угловых скоростей

В ЛГ при отражении излучения от зеркал в обратном направлении между двумя встречными волнами возникает энергетическая связь. Это приводит к тому, что при малых угловых скоростях частоты встречных волн синхронизируются и разность частот равна нулю. Для устранения этого явления используются различные способы. Наибольшее распространение получил метод вибрационной частотной подставки (ВЧП). При этом методе ЛГ закрепляется на упругом подвесе и с помощью электромагнитного или пьезоэлектрического моментного устройства подвергается принудительным угловым колебаниям.

Виброподвес представляет собой упругую опору, закреплённую на корпусе прибора и связанную с КЛ, двух пьезоэлементов, закреплённых на корпусе прибора и рычага для передачи углового перемещения.

В докладе рассматривается схема разработанного виброподвеса, его работа на определенной частоте, благодаря которой стало возможным выйти из зоны захвата, специальная оснастка для сборки виброподвеса.

## **Экспериментальное исследование динамических характеристик микромеханического измерителя параметров движения**

Кузин Е.В., Галкин В.И.

Научный руководитель – Акилин В.И.

МАИ, г. Москва

Микромеханический измеритель параметров движения предназначен для определения угловых скоростей по трем осям летательных аппаратов для пилотажных систем управления. Измеритель построен на базе высоконадежных малогабаритных микромеханических датчиков.

Одними из важнейших показателей качества измерителя угловых скоростей являются его динамические характеристики. Для подтверждения их соответствия предъявляемым требованиям, было проведено экспериментальное исследование на автоматизированном рабочем месте, на базе высокоточного одноосного поворотного стола SimexONE-V швейцарской фирмы ACUTRONIC.

Методика исследования АФЧХ предполагает проведение ряда испытаний прибора на поворотном столе и сопоставление полученных данных об угловых скоростях гироскопов прибора по трем осям и датчика угловой скорости поворотного стола. Данные измерителя передаются по протоколу ARINC-429 в специальный адаптер PCI429-3-44I фирмы «Элкус», установленный в персональном компьютере на рабочем месте. Данные с датчика угловой скорости поворотного стола выводятся в виде аналогового сигнала на плату АЦП L-CardL-502, установленную в персональном компьютере.

Основной проблемой при экспериментальном определении амплитудно-фазовых частотных характеристик прибора является необходимость синхронизации получаемых данных в процессе испытаний, обработка и представление данных в удобном для пользователя виде. Для решения данной задачи было разработано специализированное программное обеспечение, которое выполняет следующие задачи: управление работой поворотного стола, прием данных по двум каналам и их синхронизация; запись полученных данных, их обработка, представление в виде графиков.

Экспериментальное определение АФЧХ измерителя параметров движения проводилось на полосе пропускания 5 Гц – 40 Гц. Испытание проводилось в несколько этапов. Для ряда частот из указанного диапазона с помощью программы определялась величина фазового запаздывания и затухания амплитуды. Полученные данные представлялись в виде графика АФЧХ. Для подтверждения соответствия параметров исследуемого прибора заданным требованиям определялось фазовое запаздывание на частоте 5 Гц и величина затухания амплитуды на частоте 40 Гц.

В докладе представлено разработанное программное обеспечение, приведена методика экспериментального определения АФЧХ, выполнен анализ проведенных испытаний измерителя параметров движения.

### **Статистический анализ отказов радиоэлементов в производстве электронных блоков аэрокосмических приборов**

Курушин Р.А.

Научные руководители – Гребенюк Е.И., Родичев А.И.

МАИ, г. Москва

Одним из основополагающих принципов МС ИСО 9001:2015 является «Менеджмент взаимоотношений», заменяющий декларированный в предыдущих версиях «Взаимовыгодные отношения с поставщиками». Более широкое толкование взаимоотношений с внешними поставщиками продукции весьма актуально для авиаприборостроения, как наукоемкой отрасли, использующей широкую номенклатуру комплектующих, а также в связи с необходимостью реализации программ импортозамещения на предприятиях отрасли.

ГОСТ Р ИСО 9001-2015 требует, чтобы организация определяла критерии для оценки, выбора, мониторинга показателей деятельности внешних поставщиков на основе их способности поставлять продукцию в соответствии с установленными требованиями. При этом необходимо сохранять информацию об этих видах деятельности и всех необходимых действиях, являющихся следствием оценки [1].

В связи с этим на предприятии приборостроения, занимающимся производством современных приборов, в конструкцию которых входит значительное количество электронных блоков, для обеспечения информацией СМК и принятия своевременных мер по управлению качеством необходимо собирать, анализировать информацию по отказам радиоэлементов, составляющих эти блоки.

Целью работы является статистический анализ отказов радиоэлементов в производстве электронных блоков приборов с использованием информации базы данных.

В докладе приведена структура, интерфейс пользователя базы данных в среде MSAccess 2007, которая была специально разработана как информационный базис для оценки отказов поставляемых радиоэлементов внешними поставщиками приборостроительного предприятия. На основании информации, содержащейся в базе данных, имеется возможность идентификации каждого отказавшего радиоэлемента с позиций его номера, номера на чертеже, номера заказа, производителя, даты отказа, его причины, этапа технологического процесса изготовления и номера платы, на которой выявлен отказ.

В разделе «Статистика» формируется статистическая информация в графическом виде по отказам радиоэлементов различных поставщиков, номеров и дат заказов на элементы, причин отказов, платам. Информация может быть выведена в виде диаграмм инструментов контроля качества [2]. Статистический анализ позволяет подразделить на отказы собственно радиоэлементов и связанные с технологическим процессом сборки плат, что будет способствовать повышению эффективности процессов на предприятии производителе, налаживанию конструктивного диалога с внешними поставщиками в рамках менеджмента взаимоотношений.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования. ISO 9001:2015. Стандинформ. –М., 2015 32с.

2. Кане М.М., Иванов Б.В., Корешков В.Н., Схиртладзе А.Г. Системы, методы и инструменты менеджмента качества. СПб.: Питер, 2008. – 560 с.

## **Экспериментальная оценка микроползучести клеевых соединений в прецизионных приборах**

Малин Р.Г.

Научный руководитель – Молодницкий В.И.

МАИ, г. Москва

Точность и надежность прецизионных изделий приборостроения с клеевыми соединениями деталей в значительной мере зависят от их качества, которое формируется в ходе всего технологического процесса подготовки, сборки и

контроля. Основными этапами формирования качества клеевых соединений являются подготовка и сохранение их свойств, нанесение клея на сопрягаемые поверхности, сочленение деталей с клеевым покрытием, полимеризация и контроль качества соединений.

При разработке современных технологических процессов сборки изделий с клеевыми соединениями необходима информация о характеристиках используемых клеевых композиций, т.е. физико-математических свойствах, которые ложатся в основу прогнозирования надежности ресурса изделий.

Для многих клеевых соединений типичной является схема нагружения на сдвиг и здесь определяющим является характеристика прочности.

Образование клеевых соединений обычно сопровождается возникновением в них остаточных напряжений, являющихся результатом протекания различных процессов. Формирование клеевых прослоек из полимерных композиций, обычно связанное с образованием сетчатых структур в процессе отверждения полимера, приводит к возникновению начальных усадочных напряжений, вследствие того, что силы адгезии препятствуют усадке полимерной пленки. Величина усадочных напряжений в клеевых соединениях в значительной степени зависит от механизма отверждения материала клеевой прослойки.

Второй важной причиной возникновения остаточных напряжений при склеивании в условиях повышенных температур являются температурные деформации склеиваемых материалов и клеевой прослойки при охлаждении клеевого соединения. Возникновение температурных остаточных напряжений в клеевых соединениях связано с различием в коэффициентах линейного термического расширения клеевой прослойки и соединяемых материалов.

В зависимости от структуры материала клея, механизма, условий процесса отверждения и возникающего в соединении адгезионного взаимодействия остаточные напряжения могут изменяться в широких пределах. При склеивании в условиях повышенных температур преобладающими в суммарном напряженном состоянии клеевого соединения являются температурные напряжения.

Исследованы возможности различных оптических и оптико-механических методов для оценки микроползучести (МП)

- с использованием микроинтерферометра МИИ-4;
- с использованием профилометра-профилографа модели 250;
- с использованием лазерного интерферометра;
- с использованием интерферометра оптико-механических устройств на базе оптикаторов и микрокаторов с ценой деления 0,1 мкм.

Наиболее практичными оказались оптико-механические устройства, собранные по схеме пружинного нагружателя, для измерений с помощью оптикатора, позволяющие проводить исследования в течении длительного времени непрерывно. Подобные устройства, применяемые, в частности для нагружения образцов известны. [1]

Получены результаты экспериментальной оценки микроползучести клеевых швов в течение времени при различных удельных нагрузках для некоторых видов эпоксидных клеев.

Результаты исследований показывают, что при проектировании высоконагруженных клеевых соединений, необходимо создавать запас

прочности с целью уменьшения удельных нагрузок на соединение, что приводит к уменьшению микроползучести. [2]

При анализе результатов исследований следует учитывать масштабный коэффициент при приложении нагрузки.

Литература

Крысин В. Н. Слоистые клееные конструкции в самолетостроении. – М. Машиностроение, 1980 г. – 228 с.

Кейтл Ч. Клеевое соединение. М., Мир, 1971 – 74, 209 с.

### **Установка для измерения дифференциального светорассеяния оптических элементов**

Михайлов М.В.

Научный руководитель – Гребенюк Е.И., Захаров М.А.

МАИ, г. Москва

Точность и надежность работы лазерного гироскопа в значительной мере определяется оптическими параметрами элементов его резонатора, качеством сборки, адекватностью методик и точностью технологического, метрологического и испытательного оборудования. Для отработки современных технологий крайне необходима современная прецизионная метрологическая база, позволяющая с высоким разрешением и оперативно оценивать качество образцов, получаемых в экспериментальных технологических процессах.

Технология изготовления подложек зеркал является важной составляющей общей технологии чувствительных элементов лазерных гироскопов. Наиболее жесткие требования к подложкам зеркал предъявляется в части высоты микронеровностей поверхностей, достигая единиц ангстрем. Эти требования обеспечиваются применением специальных методов полировки. Одна из основных проблем при этом - отсутствие метрологии шероховатости поверхности подложек в производственных условиях.

Цель данной работы – разработка установки для контроля качества поверхности подложек зеркал в производственных условиях. Область применения установки - отработка технологии суперполировки, входной и выходной контроль параметров оптических элементов, а также элементов полупроводниковой техники.

Известны лабораторные приборы, такие как рентгеновские рефлектометры, интерферометр белого цвета и атомно-силовые микроскопы, которые могут быть использованы для решения поставленной задачи, но условия их эксплуатации не соответствуют производственным, а сами приборы не отвечают требованиям импортозамещения и требуют значительных затрат на приобретение и обслуживание.

В докладе приведена оптическая схема разработанной установки, реализующей метод оценки качества оптической поверхности путем регистрации дифференциального рассеяния. Отличительной особенностью установки является сканирование исследуемой поверхности сфокусированным на ней лучом He-Ne лазера. В качестве фотоприемного устройства используется фотоумножитель. Устройство сканирования обеспечивающее вращение зеркал, осветительного и приемного трактов, позволяет провести измерение рассеяния

под различными углами и построить диаграмму рассеяния. Позиционирование образца осуществляется с помощью двухкоординатного устройства.

Габаритные размеры установки позволяют разместить ее в рабочей обеспыленной зоне монтажного стола.

По результатам измерений определяют как неоднородность коэффициента светорассеяния, так и его усредненное значение.

Разработанное программное обеспечение производит цифровую обработку сигнала, ведение базы данных по измеряемым элементам и их параметрам, калибровку установки.

### **Вопросы потерь в планарных индуктивных элементах**

Никитин С.А., Черевко В.С.

Научный руководитель – Можаров В.А.

МАИ, г. Москва

Развитие устройств силовой электроники идет по пути уменьшения их массогабаритных характеристик с одновременным увеличением эффективной мощности и рабочих частот. Для полупроводниковых составляющих, а также пассивных, таких, как резисторы и конденсаторы, выбор довольно разнообразен. В тоже время не так много элементов могут служить малогабаритной заменой стандартным трансформаторам и дросселям, чьи размеры существенно превышают габаритные размеры остальных компонентов. Поэтому все большую популярность приобретают именно планарные устройства, являющиеся привлекательной альтернативой стандартным решениям с проволочной намоткой на ферритовый сердечник.

Планарные индуктивные устройства действуют точно также, как и обычные, однако имеют другую конструкцию, что отражает несколько технологических преимуществ, основные из которых, – небольшие массогабаритные характеристики, отличная стабильность работы, высокое значение КПД (97-99%), минимальные электромагнитные помехи, использование ферритов, которые не имеют конкурентов в технике высоких частот, высокая повторяемость параметров, а также широкий диапазон рабочих температур.

По конструктивному исполнению все планарные индуктивные устройства подразделяются на несколько типов:

- навесные компоненты, у которых все обмотки выполнены в виде самостоятельных ПП.
- гибридные компоненты уменьшают количество навесных обмоток за счет использования дорожек, разведенных на ПП проектируемого устройства (навесные и встроенные обмотки соединяются между собой на материнской плате, необходимо только предусмотреть отверстия для размещения ферритового сердечника).
- интегрированные, в которых используются витки, нанесенные на отдельные слои многослойных ПП.

В работе рассматриваются вопросы потерь в сердечнике и обмотке планарного индуктивного устройства. Даны рекомендации по оптимизации конструкции данного типа устройств: выбору формы сердечника и формы

обмоток. Изучены вопросы влияния входного напряжения и частоты преобразования на итоговую величину потерь.

## **Автоматизация процесса тестирования информационных систем с использованием теории распознавания образов**

Новиков В.А.

Научный руководитель – Акилин В.И.

МАИ, г. Москва

Тестирование программного обеспечения (ПО) – один из важных процессов жизненного цикла создания авиационного оборудования. Этот процесс трудоемкий, он требует большого количества времени на разработку тестовых процедур с участием оператора и повторения для каждой версии ПО, что вызывает необходимость автоматизации данного процесса, включая и тестирование текстовой информации на экранах бортовых индикаторов.

Актуальность работы обусловлена рядом факторов:

- ростом объема индикационных задач, рассматриваемых в информационно-управляющей системе (ИУС), и, как следствие, увеличением времени, необходимого для тестирования индикационных символов;
- необходимостью автоматизации проверок для минимизации количества ошибок, связанных с ручными действиями оператора;
- наличием систем распознавания образов, которые обеспечивают гарантированное распознавание буквенно-цифровой информации;
- наличием систем регистрации видеоизображений, формируемых бортовым индикатором.

На данный момент существуют системы тестирования бортового ПО на базе методов распознавания образов, позволяющие автоматизировать процесс тестирования за счет создания системы принятия решений по проверке соответствия изображений, выводимых на экран, ожидаемым изображениям, однако эти системы функционируют на имитаторе реального индикатора, реализованного на персональном компьютере, а не на реальном бортовом блоке.

В докладе рассмотрены результаты работы по автоматизации процесса тестирования отказных сообщений в реальном бортовом индикаторе с использованием средств распознавания текста.

В результате настоящей работы предложена система распознавания буквенной и символьной информации, позволяющая распознавать полученную и сохраненную на стенде информацию; разработаны функциональные тесты для проверки многофункционального индикатора (МФИ) в интегрированной среде стенда комплексирования; произведена интеграция системы распознавания в тестовые процедуры для обеспечения автоматического принятия решений о результате выполнения тестов.

Предложенная система распознавания буквенной и символьной информации позволяет автоматически распознавать текст отказных сообщений, выводимых на МФИ, а ее интеграция в тестовой среде – проверять их без визуального контроля оператора. Предложенный подход с распознаванием текста позволяет автоматизировать проверку отказных сообщений на 100% и сократить время использования стенда на 20% за счет уменьшения участия оператора.

## **Исследование добротности виброподвеса лазерных гироскопических чувствительных элементов**

Папенков Ю.Г.

Научные руководители – Акилин В.И., Крузе С.В.

МАИ, АО «МИЭА», г. Москва

В настоящее время нарастают потребности в точности серийно выпускаемых авиационных измерительных комплексах, таких как бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС). Одной из основных задач при их производстве является повышение точности серийно выпускаемых чувствительных элементов. Чувствительными элементами большинства БИНС являются кольцевые лазерные гироскопы различного исполнения. К основной погрешности рассматриваемых чувствительных элементов относится зона нечувствительности. Для уменьшения этой зоны используются различные методы, в частности, метод вибрационной подставки – «виброподвеса». В блоке лазерных гироскопов на виброподвес крепятся кольцевые лазеры, а сам виброподвес устанавливается в корпус БЛГ, и служит связующим элементом конструкции.

Виброподвес выполняется в различных исполнениях, определяемых геометрическими параметрами его лопастей. Он должен совершать колебания на определённой частоте с заданной амплитудой. Частота и амплитуда задаются размерами лопастей и устанавливаемыми на них пьезоэлементами. Для определения качества изготовления виброподвеса контролируются его основные параметры. В данной работе представлена статистика по частоте, амплитуде и добротности серийно выпускаемых виброподвесов. Стоит отметить, что частота подвеса является величиной, зависимой от механических параметров закрепления виброподвеса, что позволяет провести сравнение и анализ разности частот от закрепления подвеса.

В докладе приводятся диаграммы параметров, получаемых при проверке виброподвеса как отдельного изделия, так и в сборе в составе блока лазерных гироскопов; проводится анализ изменения показателей виброподвеса в сборе в процессе проверки блока при различных температурах. Для данного анализа используется статистика серийных заводов, занимающихся выпуском блока чувствительных элементов, а так же дополнительные исследования виброподвеса в ранее использовавшихся вариантах исполнения корпусов чувствительных элементов.

По результатам полученной статистики наблюдается изменение частот работы виброподвесов, при этом возможно снижение величины их добротности в сборе, так как в собранном виде на добротность подвеса оказывают влияние не только параметры виброподвеса, но и корпуса БЛГ

## **Разработка конструкции высокотемпературного механотронного датчика давления**

Парджанадзе И.В.

Научный руководитель – Васильев А.М.

МАИ, г. Москва

Проблема создания приборов для преобразования различных физических параметров (давления, линейного и углового перемещения и т.п.), работоспособных при температурах выше 500 °С, в настоящее время может быть решена на базе электронных устройств, использующих термоэлектронную эмиссию в вакууме, в частности механотронных преобразователей. Точность измерения таких устройств зависит главным образом от стабильности эмиссионных параметров эмиттерных узлов. Использование в качестве эмиттерных узлов подогревных катодов позволяет создавать системы, в которых стабилизация тока эмиссии катода при изменении в широком диапазоне температуры окружающей среды осуществлялось за счет изменения температуры подогревателя. Кроме того, механотронные преобразователи имеют высокая чувствительность при относительно небольших диапазонах перемещения подвижного электрода, что позволяет создавать мембранные узлы достаточно жесткими и, следовательно, менее чувствительными к действию высоких температур.

Была разработана конструкция и исследована прецизионная высокотемпературная механотронная система для измерения давления, работоспособная при температурах окружающей среды от 400 °С до 800 °С погрешностью измерения не более  $\pm 1\%$ . Такая механотронная система включала в себя механотронный преобразователь и блок измерения и стабилизации тока эмиссии.

Конструкция механотронного преобразователя содержала мембранную коробку с диапазоном перемещения чувствительного элемента 50 мкм и размещенных в вакуумном корпусе преобразователя трех диодов: измерительного, опорного и контрольного. Катодно-подогревной узел все трех диодов был установлен неподвижно в корпусе преобразователя. Два анода измерительного и контрольного диодов были расположены на керамическом основании в центральной части подвижной мембраны, а третий анод опорного диода устанавливался в корпусе преобразователя на керамическом основании неподвижно. В качестве эмиттера использовалась тонкопленочная эмиссионная структура на основе гексаборида лантана. Катоды всех диодов имели общий kern, выполненный в виде тонкой пленки, и были размещены на диэлектрической подложке, с обратной стороны которой был выполнен пленочный подогреватель. Аноды измерительного и опорного диодов располагались симметрично относительно анода контрольного диода. Катоды этих диодов имели одинаковую площадь и были расположены в одинаковых температурных зонах катодно-подогревного узла.

Контрольный диод работал в режиме насыщения анодного тока, который зависел в основном от температуры катод, и был подключен к системе стабилизации тока эмиссии. Измерительный и опорный диоды, работающие в режиме ограничения тока пространственным зарядом, были подключены к

блоку измерения по мостовой схеме со стабилизацией суммы токов обоих диодов при перемещении измерительного анода. Такое подключение обеспечивало высокую линейность выходной характеристики преобразователя.

Исследования разработанного механотронного датчика давления показали, что система стабилизации поддерживала ток эмиссии контрольного диода при изменении температуры окружающей среды в диапазоне 400-800°С погрешностью  $\pm 2\%$ , что позволило повысить точность измерения давления до  $\pm 1\%$

## **Исследование алгоритма компьютерной обработки параметров динамической неуравновешенности ротора**

Прокудин А.В.

Научный руководитель – Молодницкий В.И.

МАИ, г. Москва

Роторные механизмы применяются во многих областях современной промышленности, от машиностроения до компьютерной и бытовой техники. Так как зачастую эти механизмы должны функционировать на высоких скоростях, сильные вибрации, вызванные смещением центра масс ротора, могут стать серьезной проблемой и, даже, привести к поломке механизма.

Исследование алгоритма компьютерной обработки параметров динамической неуравновешенности ротора позволит:

- повысить точность определения параметров неуравновешенности ротора;
- снизить вибрацию

Разработанный алгоритм балансировки ротора из блоков для использования на ЭВМ, осуществлен на балансировочной машине АТМ-001Х и, поясняя его:

- вводится число  $n = n_i$  опор балансируемого на машине агрегата, равное число  $n_j$  плоскостей коррекции, необходимых для проведения балансировки агрегата;
- требует установки на машине всех датчиков: отметчика фазы  $d_0$  и датчиков  $d_i$  колебаний всех  $n_i = n$  опор агрегата;
- требуют реализацию операций 3 и 4 предложенной технологии;
- цикл расчетов по плоскостям коррекции  $j = 1, \dots, n$ .

Внутри этого цикла для каждого  $j$  вводится в расчет определенное значение допустимого ( $D_{\text{доп}}$ ) и произвольное значение пробного ( $D_{\text{пр}}$ ) дисбалансов реализуется операция предложенной технологии с проведением необходимых измерений и расчетов, по результатам которых в каждом из циклов формируется  $j$ -й ( $j = 1, \dots, n$ ) столбец матрицы  $[k_{ij}]$ ;

- выходом из цикла расчет переходит к формированию полной матрица векторных коэффициентов влияния;
- обращение матрицы  $[k_{ij}]$  по стандартной программе;
- расчет дисбалансов и корректировка неуравновешенности балансируемого на машине агрегата, измерения и расчеты для определения значений и углов остаточных дисбалансов  $\{D_j\}_{\text{ост}}$ ;
- цикл расчетов для сравнения остаточных дисбалансов в каждой из плоскостей коррекции с их допустимыми значениями и осуществления (по

необходимости) дополнительной корректировки. Если корректировка осуществляется, полагается  $x = 1$ ;

- условный переход, если условие выполняется, выдается информация о сбалансированности ротора с требуемым уровнем качества. При невыполнении условия выполняется повторная оценка качества балансировки ротора и (по необходимости) дополнительная корректировка его дисбалансов до выполнения условия этого блока.

Данный алгоритм позволяет достаточно точно производить спектральный анализ сигнала датчика вибрации с целью диагностики дефектов.

## **Разработка проблемно-ориентированного программного обеспечения для дифракционных контрольно-измерительных устройств**

Рогов А.А., Сагитов Г.М.

Научные руководители – Жуков А.А., Гребенюк Е.И.

МАИ, г. Москва

Дифракционный метод находит все более широкое применение для решения задач различного рода, как в научных исследованиях, так и при создании контрольно-измерительных средств промышленного назначения. В связи с этим программные средства, используемые для обработки дифракционных картин (ДК) крайне разнообразны. Цифровая обработка дифракционных картин используется для решения универсальной задачи оценки микрообъектов путем поиска перегиба главного максимума дифракционной картины [1]. В текстильной промышленности при контроле распределения волокон в полуфабрикатах прядильного производства для анализа дифракционных картин Фраунгофера применяется специализированное программное обеспечение [2]. Программное обеспечение на базе среды программирования LabVIEW [3] используется при анализе дифракционных картин, полученных методом просвечивающей электронной микроскопии, для автоматизации распознавания и расчета параметров кристаллических решеток пленочных систем. Для определения кристаллической структуры монокристаллов на основе дифракционных данных используется специализированный набор программ SHELX [4].

Исследования возможности применения дифракционного метода для контроля микроотверстий в элементах изделий прецизионного приборостроения, проводимые в рамках студенческой научно-исследовательской работы, ставят свои требования к программному обеспечению анализа ДК: обеспечение цифровой обработки ДК по заданным сечениям с использованием общедоступных программных средств.

В докладе приведен алгоритм цифровой обработки ДК, отвечающий данным требованиям. ДК, полученная при зондировании отверстия диаметром  $d$  порядка  $6000 \times 4000$  пк и длиной  $L > d$ , зарегистрированная светочувствительной матрицей специальной подпрограммы «RGBToGray» на языке CPython и выводится в виде матрицы интенсивности в файл формата.txt. Данный файл загружается в MSExcel. С помощью макроса «Поиск Центра», выбирается путь к файлу записи

и определяются координаты центра ДК путем нахождения среднего значения координат пикселей равных максимальному значению интенсивности. Макрос «Выбор Сечения» позволяет выбрать необходимые для анализа сечения ДК путем занесения в форму координат крайних точек слева от центра и вывести двумерный массив, отражающий распределение интенсивности ДК в заданном сечении по координатам. Путем анализа максимумов и минимумов двумерного массива определяются координаты характеристических точек ДК и рассчитываются необходимые параметры ДК с целью определения в дальнейшем их зависимости от геометрических параметров и качества внутренней поверхности микроотверстий.

Разработанное программное обеспечение после доработки будет использовано в промышленных устройствах дифракционного контроля качества микроотверстий в печатных платах и элементах МЭМС.

#### Литература

1. Иванов А.Н. Метод измерения размеров микрообъектов по положению точек перегиба дифракционной картины. Труды международной конференции «Прикладная оптика 2010» т.1 ч.2 СПб, 2010, стр. 198-201.

2. Свидетельство РФ об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2009614350. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 18.07.2009. Опубл. Программы для ЭВМ. Бюл. №4 2009.

3. Программное обеспечение для распознавания и анализа дифракционных картин, полученных методом просвечивающей электронной микроскопии. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.labview.ru/solutions/216/item1590/> ( дата обращения: 27.02.2016).

4. Толочко Б.П., Жогин И.Л. и др. Проект экспериментальной станции «Монокристалльная дифрактометрия» на канале синхронного излучения накопителя а ЭПП-4. ИЯФ-2002-3, Новосибирск, 2002.

### **Неразрушающий контроль сквозных отверстий в кремнии для элементов МЭМС-датчиков**

Сагитов Г.М., Тартачная Д.С., Федотикова М.В.

Научные руководители – Жуков А.А., Гребенюк Е.И.

МАИ, г. Москва

Постоянно расширяющийся спектр МЭМС-датчиков давления, положения, угловой скорости, ускорения, магнитного поля обуславливает развитие новых технологий создания трехмерных интегральных схем (3D-IC) объемной микрообработкой. В частности, используются приемы формирования в кремниевых подложках толщиной от 5 до 500 мкм, сквозных металлизированных или неметаллизированных отверстий с различными профилями поперечного сечения. Сквозные отверстия в кремнии формируют методами «сухого» травления, жидкостного травления или лазерной пробивкой. Контроль качества таких отверстий осуществляют различными методами. В частности, для контроля диаметра и формы поперечного сечения используется оптическая микроскопия, а профиль поперечного сечения, микрошероховатость образующей отверстия контролируют по сколу разрушающими методами с применением электронной микроскопии, атомно-силовой микроскопии.

Высокая плотность отверстий на кристалле, обуславливает высокую трудоемкость и стоимость разрушающего контроля такими методами, не позволяя использовать их в качестве межоперационного контроля в серийном производстве.

В связи с этим разработка неразрушающего метода контроля качества сквозных отверстий в кремнии является одной из важнейших при совершенствовании технологического процесса элементов МЭМС.

Цель настоящей работы – разработка неразрушающего метода контроля качества сквозных отверстий в кремнии.

Реализация данной цели связана и исследованием возможности применения оптических лазерных методов контроля.

В докладе представлены результаты исследований технологических возможностей лазерного дифракционного метода при контроле сквозных отверстий диаметром 150-350 мкм в кремнии. Отверстия получены методами «сухого» травления в индуктивно связанной плазме и лазерной пробивкой. При этом ставилась задача контроля как формы отверстия в поперечном сечении, так и в продольном. Решение задачи дифракционного контроля микроотверстий усложнено тем, что диаметры рассматриваемых сквозных отверстий соизмеримы с толщиной кремниевой подложки.

Для решения поставленной задачи были исследованы дифракционные картины, зарегистрированные в зоне дифракции Фраунгофера при зондировании лазером с длиной волны 0,6 мкм отверстий круглого и многоугольного профиля. Проведено математическое моделирование распределения интенсивности при дифракции на отверстиях в соответствующем размерном диапазоне на плоском экране. Путем сопоставления теоретических и экспериментальных распределений выявлено влияние параметров протяженных микроотверстий на формирование структуры дифракционной картины в зоне Фраунгофера. Это позволяет рекомендовать использование дифракционного метода для автоматизированного межоперационного контроля в технологическом цикле изготовления микросистемных элементов МЭМС-датчиков.

## **Встраивание электронных компонентов в печатные платы в лабораторных условиях**

Горелов А.О., Новиков Н.А., Сашина А.А.

Научный руководитель – Васильев Ф.В.

МАИ, г. Москва

В Московском авиационном институте на кафедре «Технология приборостроения» ведутся исследования по встраиванию электронных компонентов в объем печатной платы. На основе этих исследований была разработана технология встраивания активных и пассивных SMD компонентов, применимая в лабораторных условиях при штучном и мелкосерийном производстве [1].

Одной из проблем, обнаруженных в процессе отладки технологического процесса встраивания SMD компонентов в объем печатной платы в лабораторных условиях является образование «колодцев» – провалы на

поверхности многослойной печатной платы (МПП), образующиеся из-за излишней пустоты вокруг встроенных компонентов.

Поскольку технологические пазы под компоненты невозможно делать точно по размеру встраиваемых компонентов, что связано с внутренними напряжениями и рассовещением слоев МПП в процессе прессования [2], предложено использовать фотоотверждаемый состав для заполнения свободного пространства в объеме печатной платы.

В процессе изготовления печатной платы изначально предлагался к использованию деликатный режим прессования, используемый вместе со свинцовыми припоями. Было спроектировано и изготовлено устройство, светодиодная матрица 10x10, в которой все электронные компоненты находятся внутри печатной платы. Для изготовления использовались 100 светодиодов SMD 0603. В качестве фотоотверждаемого состава использован материал 3D-принтера FullCure720, который уже используется в технологии для улучшения адгезии между слоями МПП и их предварительной фиксации. В качестве припоя использовался оловянно-свинцовый припой ПОС-61 с температурой плавления 183 °С.

Проведено исследование влияния размеров технологических пазов под компоненты на образование «колодцев» с целью выявления оптимального допуска под компонент и уменьшения пустоты вокруг элемента. Также сделаны микрошлифы, показавшие заполнение полостей вокруг компонентов материалом принтера. Результаты проведенного исследования показали, что оптимальным допуском для пазов является 0,2 мм от габаритных размеров компонента.

Изготовленные образцы по доработанной технологии отличаются менее выраженным эффектом «колодцев» или полным его отсутствием. Для полного решения проблемы необходимо решить вопрос с точным дозированием необходимого количества фотоотверждаемого материала.

Литература

1. Горелов А. О. Изготовление печатных плат со встроенными компонентами с использованием стандартных технологических процессов // Сборник тезисов докладов «Инновации в авиации и космонавтике». Москва, 2015.

2. Васильев Ф.В. Конструкции электронных модулей с встроенными компонентами. Преимущества и недостатки. // Труды XXIV международной научно-технической конференции «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации», Алушта, 2015.

### **Контроль качества микроотверстий в печатных платах для аэрокосмического приборостроения**

Федотикова М.В., Тартачная Д.С., Сагитов Г.М.

Научные руководители – Жуков А.А., Гребенюк Е.И.

МАИ, г. Москва

Современные требования к микроминиатюризации конструкции и уменьшению веса изделий аэрокосмического приборостроения неразрывно связаны с микроминиатюризацией электронных узлов. Это приводит к увеличению плотности проводников и монтажных выводов на печатных платах,

уменьшению ширины проводников, зазоров между ними, уменьшению размеров огромного количества межслойных переходов в виде глухих и сквозных отверстий в многослойных печатных платах. Минимальный диаметр сквозных отверстий в печатных платах, получаемые, например, на станках фирмы Posalux (Швейцария) составляют 50 мкм. При этом скорости вращения шпинделей такого станка, достигающие несколько сотен тысяч оборотов в минуту, в значительной мере определяют качество получаемых отверстий и требуют тщательного подбора режимов в зависимости от конструктивных особенностей и материала печатных плат. Проблема усложняется низкой воспроизводимостью свойств материалов печатных плат, в частности, выполненных из стеклотекстолита. Флуктуация свойств наблюдается в партиях, произведенных различными компаниями и даже от партии к партии. Наибольшую опасность представляют собой дефекты в отверстиях в виде распущенных нитей стеклотекстолита на внутренней поверхности отверстий печатной платы, которые в дальнейшем приводят к снижению адгезионных свойств при металлизации.

В связи с этим в условиях серийного производства возникает задача оптимизации режимов сверления путем оперативной оценки качества отверстий, просверленных в контрольной партии. При этом оценку следует производить неразрушающими методами и желательно в условиях, приближенных к производственным.

В качестве метода такой оперативной неразрушающей оценки предложен метод дифрактометрии в зоне дифракции Фраунгофера, реализованный путем зондирования отверстий контрольной партии расходящимся пучком лазера.

В докладе приведены результаты исследования взаимосвязи полученных дифракционных картин Фраунгофера с параметрами сквозных отверстий в диапазоне диаметров 100-300 мкм, выполненных в плате толщиной 300 мкм. Получены зависимости характеристических параметров дифракционной картины от диаметра отверстий, позволяющие обеспечить контроль диаметра с погрешностью не хуже  $\pm 5$  мкм. Анализ дифракционных картин, полученных при освещении отверстий лазером с двух сторон, позволяет выявить погрешности формы в виде некруглости и конусности. Особый интерес представляет наличие взаимосвязи между изменением интенсивности периферии дифракционной картины с дефектами, связанными с неоднородностью поверхности внутри отверстия в виде вырывов и распущенных нитей.

Дифракционные картины, отражающие дефекты различного вида, обработаны с помощью специально разработанного программного обеспечения. Получены зависимости, позволяющие количественно оценить параметры отверстий контрольной партии.

Полученные данные позволяют обоснованно подходить к выбору методов и режимов формирования сквозных отверстий.

## **Разработка АСТПП группы деталей типа «блок шестерён» приборных комплексов на базе САПР «СПРУТ»**

Харьковский И.С.

Научный руководитель – Гребенюк Е.И., Домарев С.И.

МАИ, г. Москва

Автоматизированные системы технологической подготовки производства ТПП (АСТПП) находят широкое применение на передовых предприятиях авиаприборостроительной промышленности для освоения выпуска образцов новых изделий, повышения технического уровня и качества продукции, улучшения всех технико-экономических показателей работы предприятий. Кроме того, традиции подхода к созданию специализированных АСТПП с позиций групповой технологии позволяют оптимизировать технологические маршруты, сократить длительность производственных циклов за счет времени, не добавляющей продукту ценности, снизить себестоимость благодаря использованию групповой технологической оснастки или формирования производственных ячеек групповой технологии.

Специфика предприятий авиационного приборостроения обуславливает особые требования к качеству и надежности элементов приборных комплексов, работающих в условиях высоких динамических нагрузок. Это определяет и особые требования к конструктивным элементам приборов, в частности, к унифицированным корпусным деталям, как на этапе проектирования, так и на этапах технологической подготовки производства и изготовления. Современные требования к импортозамещению диктуют необходимость использования отечественных программных продуктов для реализации АСТПП.

В связи с этим при выполнении данной работы была поставлена задача разработки АСТПП группы деталей типа «блок шестерен» приборных комплексов на базе САПР «СПРУТ» российской компании «СПРУТ-Технология».

В докладе рассмотрены этапы формирования АСТПП. Приведена сформированная на основании анализа чертежей унифицированных деталей типа «блок шестерен» группа деталей, создана комплексная, для которой разработан комплект конструкторской документации на базе 3D моделирования в пакете SprutCad.

Для разработки технологического процесса изготовления группы деталей типа «блок шестерен» приборных комплексов, технического нормирования, формирования технологической документации по ЕСТД использована система СПРУТ ТП.

Система SprutCAM использована для создания программного обеспечения обрабатывающего центра.

Для разработанного группового технологического процесса спроектирована в пакете «КОМПАС 3Д» технологическая оснастка для станка с ЧПУ.

## **Влияние нефункциональных контактных площадок на различные характеристики печатных плат**

Хомутская О.В.

Научный руководитель – Можаров В.А.

МАИ, г. Москва

В работе рассматривается влияние наличия нефункциональных контактных площадок (НКП) на различные характеристики печатных плат (ПП). Исследование проводилось в два этапа. На первом этапе мы опросили более 20 отечественных производителей ПП и сравнили полученные результаты с результатами схожего опроса среди производителей в США. На втором этапе мы провели собственные исследования и выделили основные аспекты при использовании НКП.

Предприятия, не вводящие НКП, делают это, в первую очередь, для упрощения процесса сверления, чтобы продлить срок службы сверла и сформировать надежные переходные отверстия. Некоторые предприятия утверждают, что отсутствие НКП улучшает процесс травления, уменьшается вероятность замыканий.

Для предприятий, вводящих НКП, основным доводом было, что НКП действуют в качестве заклепки для устранения эффекта дельминации. Некоторые компании признаются, что боятся удалить используемую контактную площадку во время удаления НКП. Несколько предприятий заявили, что отсутствие всех НКП на большом количестве слоев ПП может привести к большим расстояниям между функциональными точками сквозного металлизированного отверстия, что может привести к частичному снижению надежности. Одним из вариантов решения этой проблемы они называют выборочное удаление НКП, сохраняя при этом несколько связующих точек на протяженности всего металлизированного отверстия.

В результате наших исследований, анализа отечественного и изучения зарубежного опыта были определены преимущества и недостатки, описанные ниже, и даны рекомендации по применению НКП. Жирным выделены моменты, на которые производители ПП не обращают своё внимание.

Недостатки использования НКП:

- Снижают время жизни сверла.
- Ухудшают качество сверления отверстия (нанос смолы) вследствие большего тепловыделения, что в итоге негативно сказывается на качестве металлизации.
- Увеличивают время автоматического оптического контроля.
- Привносят помехи в высокочастотный сигнал.
- Увеличивают массу ПП.

Преимущества использования НКП:

- Являются дополнительными центрами кристаллизации при осаждении меди при металлизации отверстий.
- Являются своеобразным якорем для металлизации сквозного отверстия, тем самым увеличивая его стойкость к термоциклированию.

- Не позволяют возникать дополнительным механическим напряжениям в районе переходного отверстия и проводников, находящихся в этом слое, несмотря на заполнение перепадов смолой при прессовании.
- Увеличивают геометрическую стабильность слоёв ПП.
- Уменьшают увод сверла при сверлении.

В зарубежной практике удаление НКП является стандартной практикой изготовителей ПП. По их мнению, удаление НКП не ухудшает показателей надёжности. В России же большинство производителей оставляют НКП, руководствуясь решением заказчика или собственным опытом.

## **Исследование точностных характеристик малогабаритного цифрового блока лазерных гироскопических датчиков по результатам его испытаний**

Козлова Е.С., Шарапов И.А.

Научные руководители – Акилин В.И., Крузе С.В.

МАИ, АО «МИЭА», г. Москва

В настоящее время в качестве основных средств ориентации подвижных объектов широко применяются бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС), основным чувствительным элементом которых является оптический измеритель угловых скоростей – лазерный гироскопический датчик (ЛГД). На сегодняшний день к числу важнейших показателей развития авиационных технологий относятся повышение точностных характеристик и уменьшение массы и геометрических размеров приборов.

С участием авторов был разработан принципиально новый для России чувствительный элемент – малогабаритный цифровой блок лазерных гироскопических датчиков (БЛГД). Его основные преимущества – малые габариты и цифровая архитектура, при сопоставимых точностных параметрах.

Малые габариты БЛГД обеспечиваются применением следующих технических решений:

- совмещением трёх лазерных гироскопических датчиков в едином корпусе вместо трёх отдельных, устанавливаемых на несущей раме;
- применением малогабаритного кольцевого лазера (КЛ), обладающего почти в два раза меньшим периметром оптического контура по сравнению с применяемым в настоящее время КЛ;
- использованием новых схемотехнических подходов, позволивших реализовать все подсистемы жизнеобеспечения кольцевого лазера и обработки информации в едином электронном блоке.

Цифровая архитектура БЛГД также является существенным преимуществом. В составе блока электронных плат каждого из трёх каналов (оси X, Y, Z) имеется микроконтроллер и программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС). Обмен данными между блоком и внешним потребителем (вычислитель навигационной системы) осуществляется по цифровым линиям связи со стандартным интерфейсом RS422. Кроме того, упрощён процесс калибровки блока – занесение индивидуальных параметров кольцевых лазеров, таких как токи разряда и резонансная частота вибропривода, осуществляется путём

программирования с использованием персонального компьютера и стандартных устройств – программаторов.

В рамках доклада рассматриваются функциональные и точностные характеристики малогабаритного цифрового блока лазерных гироскопических датчиков, полученные в результате исследований опытных образцов. Особенности разработанного изделия делают его весьма перспективным в качестве чувствительного элемента новых серийных навигационных систем.

### **Анализ технологического процесса сборки и контроля курсовертикали**

Широкова В.И.

Научный руководитель – Когой Т.В.

МАИ, г. Москва

В условии серийного производства навигационных систем важная роль отведена созданию технологического процесса их сборки и контроля. Точностные характеристики и работоспособность прибора в целом зависят от множества факторов, таких как соблюдение технологического процесса, применяемое оборудование, оснастка, инструменты и материалы, а так же методики контроля прибора по различным параметрам, его регулировка и испытания.

В докладе анализируется технологический процесс сборки бесплатформенной курсовертикали, описываются различные операции сборки и контроля электрических параметров, регулировки и испытаний, основные причины брака.

Часто на производстве происходят случаи, когда при проверке параметров или в процессе регулировки собранного прибора обнаруживаются дефекты. Их поиск и устранение занимают определенное время, что негативно сказывается на объеме и сроках выпуска изделий, а так же их качестве.

Анализ технологического процесса сборки и контроля дает возможность выявить основные факторы, влияющие на качество работы и степень надежности курсовертикали. Классификация дефектов и анализ источников их появления позволит определить «слабые» места в сборочных и контрольных операциях, что может усовершенствовать действующий технологический процесс.

В докладе приводится анализ методик входных параметров курсовертикали, применяемое в технологическом процессе контрольно-испытательное оборудование, даны рекомендации по совершенствованию технологического процесса, направленные на повышение точностных характеристик.

## **СЕКЦИЯ № 20. Технология изготовления и сборки летательных аппаратов**

Руководитель секции: д.т.н., профессор Чумадин А.С.

---

### **Уменьшение трудоёмкости производства сложных трубопроводных систем за счёт применения координатных измерительных машин**

Аушкин Г.И.

Научный руководитель – Шемонаева Е.С.

МАИ, г. Москва

В современных летательных аппаратах общая длина трубопроводных систем может достигать нескольких километров. Из-за малой жесткости входящих элементов, окончательная сборка летательных аппаратов затруднена прокладкой трубопроводов, так как невозможно добиться их взаимозаменяемости. Кроме того, от изделия к изделию меняются места сгиба, в зависимости от геометрии корпуса летательного аппарата и его внутренней компоновки. В связи с этим, вопрос высокой трудоёмкости изготовления трубопроводных систем сложных форм остро стоит в авиа- и космической промышленности.

В зависимости от типа магистрали (топливная, воздушная, масляная и др.) варьируется как номенклатура входящих в систему трубопроводов и их элементов, так и материалы из которых они изготовлены, а соответственно и процессы их изготовления. Так, трубопроводы малого диаметра можно получать гибкой с применением трубогибочных станков, а трубопроводы большого диаметра, свариваются из сегментов, получаемых листовой штамповкой. Для сложных трубопроводов зачастую необходимо большое количество специальной оснастки, которая используется единично. Кроме того, для таких трубопроводов требуется большое количество ручных доводочных работ и работ по подгонке при монтаже, что в свою очередь плохо сказывается на точности и качестве получаемого изделия. Стоит отметить, что при монтаже трубопроводных систем под требуемые места крепления, то есть «по месту», необходимо изначально снять размеры с изделия, на которое устанавливается трубопровод, затем с помощью ручных подгоночных работ перенести их на элемент трубопровода. Как правило, этот процесс повторяется многократно, прежде чем трубопроводный элемент займет свое место в системе. В конечном итоге, такой сложный процесс изготовления трубопроводных систем приводит к большому перерасходу нормо-часов, что задерживает окончательную сборку изделия.

В настоящее время в производстве авиа- и космической техники существует общая тенденция на переход от традиционных способов измерения геометрии изделия на современные мобильные координатные измерительные машины. В работе исследуется способ уменьшения трудоёмкости производства трубопроводных систем с использованием координатной измерительной машины типа лазерный трекер. Сущность заключается в том, что, зная реальную геометрию каждого изделия, можно изготовить трубопровод подходящей геометрии и установить его на изделие без подгонки. Замеряя базовые элементы

изделия необходимо войти в его собственную систему координат и после замерить фланцы, кронштейны, хомуты и другие опорные места для трубопровода, а также узкие или требующие обхода уже установленных конструктивных элементов места. Далее полученные координаты передаются на компьютер, где создается объемная модель трубопровода. В конечном итоге результаты моделирования передаются на станок с числовым программным управлением, где требуемый элемент трубопровода изготавливается.

Таким образом, можно получать элементы трубопроводных систем, которые не требуют подгоночных работ при монтаже на изделие. Способ изготовления элементов трубопроводных систем с применением координатной измерительной машины типа лазерный трекер позволяет уменьшить трудоемкость их изготовления на 30-50%, исключить лишнюю специальную оснастку, а также большое количество ручных доводочных работ и работ по подгонке.

### **Разработка и создание модели магнитно-импульсного соединения трубчатых конструкций совместными программами**

Афшари Паям

Научный руководитель – Астапов В.Ю.

МАИ, г. Москва

В конструкциях современных летательных аппаратов, которым относятся, в первую очередь, самолеты и вертолеты, и в любых других летательных аппаратах применяются трубопроводы для подачи топлива, жидкости и воздуха. Они представляют собой соединения трубчатых деталей, изготовленных из однородных или разнородных материалов. Это могут быть соединения труб различного диаметра типа переходников, стыковые соединения труб, обжимаемые трубкой другого диаметра, различной формы заглушки на трубопроводах, конструкции типа фильтров, переходники пространственной формы, тяги.

Магнитно-импульсная обработка материалов – это один из видов обработки металлов давлением, применяется для изготовления различных деталей сложной геометрической поверхности и для выполнения сборочных операций, обработка осуществляется в холодном состоянии металла под воздействием электромагнитного поля.

Процесс магнитно – импульсной обработки ввиду сложности, связанной с деформированием и воздействием давления импульсного магнитного поля, недостаточно проработан с точки зрения математического моделирования. В связи с этим наиболее универсальным инструментом для этих целей является компьютерное моделирование. На сегодняшний день для моделирования процессов обработки металлов давлением успешно применяются универсальные пакеты, такие как DEFORM, QFORM, ANSYS, MSC NASTRAN, ABAQUES, и специализированные, например, LS-DYNA.

Для решения математического моделирования метода магнитно-импульсной обработки и сварки используем комбинацию пакета LS-DYNA (EMF). Он поддерживает режим параллельных вычислений, что позволяет использовать его в мощных системах многоцелевыми пакетами, при этом предъявляются особые требования и возможности решения, связанных нелинейных динамических

задач с учётом явлений электромагнетизма, тепловых эффектов и процессов деформации.

Создание твердотельных моделей для LS-DYNA в разделе геометрические модели будет выполняться «снизу-вверх», соответственно сначала создаются геометрические компоненты более низкого уровня, в данном случае – ключевые точки, по которым в дальнейшем будет создана остальная геометрия модели. Модель устанавливается с помощью программного обеспечения CATIA или HyperMesh, а затем с помощью программного обеспечения Hyper Mesh считывает его и преобразует в формат HM, в то же время учитывается геометрия с помощью программного обеспечения Hyper Mesh. Это означает, что моделирование необходимо проводить с мелкой трехмерной сеткой (с большим количеством элементов) и шаг по времени должен быть мал (большое количество интервалов для небольшого промежутка времени). Для выполнения мелкой трехмерной сетки используется программный пакет Altair Hyper Mesh.

Нужные свойства материала имеют важное влияние в моделировании сварки. Подавляющее большинство данных материала получены в результате экспериментов, в модели конечных элементов EMF. Основная часть материалов, как упруго пластические характеристики материала принимается компонентами MAT340 или MAT20 - SMT1.

## **Проектирование гибких систем для механической обработки ведущих шестерён**

Бадранов И.Ш.

Научный руководитель – Бухтева И.В.

МГМУ (МАМИ), г. Москва

Для выражения принадлежности детали  $x_i$  к каждой группе использовалось понятие – характеристическая функция  $\mu_A(i)$ , то есть  $\mu_A(i)=1$ , если  $i \in A$  и  $\mu_A(i)=0$ , если  $i \notin A$ . Характеристическая функция может принимать любое значение в интервале  $[0;1]$ .

Для каждой группы преобразовывалось нечеткое множество в четкое число.

Для каждой детали задавались вектора-характеристики  $x = (x_1, x_2, \dots, x_l)$ , где  $l$  – количество признаков подобия, а  $x_i, i=1,2,\dots,l$  – количественные выражения близости деталей по каждому из признаков. В случае с количественным определением признаков подобия можно принимать  $x_i=1$  или  $0$  в зависимости от наличия или отсутствия данного признака у конкретной детали. Векторы-характеристики деталей можно определить на основании группового технологического процесса обработки, когда размерность векторов определяется числом элементарных технологических переходов для обработки всех деталей группы, а компоненты векторов равны  $1$  или  $0$  в зависимости от того, выполняется или нет данный переход для конкретного изделия.

Каждый из векторов-представителей имеет свою область притяжения, попадание в которую вектора-характеристики означает принадлежность этого изделия соответствующей группе. Для разбиения изделий на группы используется аппарат теории нечетких множеств. Каждой из групп, имеющей

вектор-представитель  $V_1, V_2, \dots, V_m$  ставится в соответствие нечеткое множество  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_m$  изделий из общей совокупности изделий  $x(A_j \in x)$ . Изделие с вектором-характеристикой  $x_i \in X$  включается в каждое множество  $A_j$  с определенной степенью принадлежности  $\mu_{ij}$  для  $x_i \in X$ .

$\mu_{ij}$  представляет собой нормированную степень близости вектора-характеристики  $x_i$  к вектору – представителю  $V_j$ .

В нашем случае эта задача решалась приближенно на основе балльной системы, разделив все операции, по которым операции различаются между собой на группы в порядке возрастания сложности переналадки и присвоения определенного балла сложности для операций каждой группы. Описание каждой детали включало совокупность элементарных технологических переходов, необходимых для ее полной обработки. Задав ограничения на последовательность и совмещение переходов в зависимости от характера обработки, требований к точности и качеству обработки, возможностей оборудования, можно получить информацию о наименьшем числе позиций для обработки и о совокупности элементарных операций, объединяемых в одну позицию.

По полученной информации о требованиях к обработке двух деталей, можно:

- выделить одинаковые операции на одинаковых позициях, требующих применения одних и тех же инструментов, и режимов обработки с одинаковой ориентацией инструмента относительно сторон обработки (балл сложности переналадки – 0);
- выделить операции, требующие только замены инструмента или добавления его в многоинструментальную головку (балл сложности переналадки – 1);
- выделить операции, требующие новой настройки силовых головок (изменения режимов резания, ориентации инструмента (балл сложности переналадки – 2);
- выделить операции, требующие включения в работу новых силовых головок или замены одних головок другими (балл сложности переналадки – 3);
- выделить операции, для осуществления которых необходимо числа позиций (балл сложности переналадки – 4).

Результаты группирования получаются в виде нечетких множеств, определяющих принадлежность всех изделий к каждой группе. Это позволяет свободно варьировать составами групп и обеспечивать их равномерность по суммарным трудоемкостям обработки в течение года.

## **Многоразовые космические аппараты для задач космического туризма**

Белов С.П.

Научный руководитель – Астапов В.Ю.

МАИ, г. Москва

Новым направлением в освоении космического пространства является космический туризм. В последние годы сложились предпосылки для развития космического туризма: достигнут высокий уровень технологий производства

летательных аппаратов, накоплен опыт в создании многоразовых космических аппаратов (МКА) как в России, так и за рубежом. Не последнюю роль играет растущее число энтузиастов, появление состоятельных людей, способных принять участие в аэрокосмическом полете.

Существуют также проекты МКА с вертикальным взлетом. Запуск космического аппарата осуществляется с ракеты-носителя. Также разрабатываются МКА, работающие по одноступенчатой схеме запуска, при которой орбитальный корабль использует для запуска только собственные двигатели, без сбрасываемых ускорителей или внешних топливных баков. Основные преимущества такой схемы заключаются в легкости ее эксплуатации, надежности и времени подготовки к запуску, но также требуют затрат на разработку гибридных ракетных двигателей и сверхлёгких материалов, необходимых для создания таких МКА.

В данный момент проектируются МКА с воздушным стартом, например, по двухступенчатой схеме со сверхзвуковым или дозвуковым самолёт-носителем, который выводит космический аппарат на заданную точку (возможен длительный перелёт с дозаправкой в воздухе, к экваториальным областям земного шара, с более благоприятными условиями для запуска), поднимает его на определённую высоту, после чего происходит отделение МКА и он выходит на опорную орбиту используя собственные двигатели. Схема «воздушный старт» обладает следующими преимуществами: отсутствие необходимости в космодроме (запуск осуществляется с аэродрома I класса), большая экологическая чистота за счет применения менее токсичного топлива.

Для задач космического туризма целесообразно использовать малоразмерный крылатый МКА, основные преимущества которого: пологий аэродинамический спуск с орбиты в атмосфере, аэродинамический боковой маневр относительно трассы, возможность аэродинамических маневров в верхних слоях атмосферы с целью изменения параметров орбиты, посадка на основной и запасной аэродромы. Также применение самолета-носителя в качестве первой ступени МКА позволит снизить стоимость полета, что сделает космический туризм более доступным.

Использование малоразмерных МКА ставит перед собой ряд задач, среди них – обеспечение требуемого температурного состояния элементов конструкции аппарата. Для «Бурана» были созданы и испытаны материалы, предназначенные для теплозащиты различных участков его поверхности. Для носка фюзеляжа и передних кромок крыльев использовался углерод-углеродный композиционный материал (УУКМ), способный многократно функционировать при температурах до 1650°C. В настоящее время актуальна проблема разработки материалов, сочетающих в себе высокие механические свойства с высокой термической и окислительной стойкостью. Среди современных композиционных материалов такими свойствами обладают УККМ. Основной недостаток УУКМ – недостаточная стойкость в окислительных средах и недостаточная стойкость в эрозионных потоках при высокой температуре. По этой причине, наиболее актуальным материалом для теплонагруженных конструкций ракетно-космической отрасли является УККМ (или C–SiC). УККМ представляет собой карбидокремниевую матрицу, армированную углеродными волокнами.

Карбидокремниевая матрица обладает высокой термостойкостью, а углеродный каркас обеспечивает необходимую прочность и жесткость.

## **Вырубка мягких материалов по сложному контуру**

Белоусов В.Б.

Научный руководитель – Типалин С.А.

МГМУ (МАМИ), г. Москва

При производстве товаров народного потребления большое место имеют различные мягкие материалы на целлюлозной или полимерной основе, которые на стадии производства нуждаются в раскрое. Раскрой данных материалов производится или отдельно каждого слоя, или резка в пакете сразу нескольких однотипных деталей. Процесс разделения таких материалов по схеме своего действия близок к операциям просечка и высечка. В штампе также присутствует сжимаемый материал (обычно резина определенной степени упругости), расположенный в непосредственной близости от боковых кромок каждого ножа. Этот материал служит для прижима разрезаемого материала к опорной плите и надежно удерживает его во время вырубки. При отводе ножа он продолжает давить на материал и исключает прилипание материала.

В процессе штамповки прослеживаются следующие стадии вырубки:

- Нижняя плита движется вверх;
- Выполняется вырубка листа;
- Отвод инструмента.

У данной технологии имеются следующие недостатки. Когда штамп закрывается, ножи прорезают материал, касаясь опорной плиты. В процессе касания ножа с плитой происходит:

- Если плита стальная, то возникает затупление ножа.

Если плита из мягкого металла или пластмассы, то поверхностный слой постепенно разрушается. Впоследствии при штамповке это приводит к недорезу материала, а при штамповке многослойных пакетов последние слои остаются нетронутыми. Наиболее простой и экономичный вариант является снижение давления ножа на плиту, путем установки дополнительного резинового буфера. Именно он снизит давление ножа на опорную плиту, при этом, не теряя качества разрезаемого материала. Тем самым увеличим количество циклов вырубки, без ремонта штампа.

Давление на нож будет меньше, за счет разности давления сил резания и сил, развиваемым самой машиной для вырубки.

При прорезании ножом материала, буфер под опорной плитой сжимается, тем самым ослабляя силу резания и снижая давление ножа, но так, чтобы весь материал полностью прорезался, тем самым вызывая меньшее затупление ножа и меньшее прорезание опорной плиты.

## **Глубокая вытяжка тонкостенных осесимметричных деталей со сферическим дном**

Вагранский В.А.

Научный руководитель – Типалин С.А.

МГМУ (МАМИ), г. Москва

Надежность современные конструкции и изделия напрямую зависит от качества составляющих их деталей. В связи с этим постоянно существует необходимость в развитии технологий производства деталей с учетом особенностей деформации материалов. В настоящее время многие листовые детали из трудно деформируемых материалов изготавливаются за несколько переходов, с применением промежуточного отжига. Получаемая себестоимость их изготовления крайне высока. В связи с этим необходима проработка технологии изготовления с учетом предварительного нагрева заготовки и штамповки детали в горячем состоянии.

Наиболее сложные детали, получаемые методами вытяжки, являются детали со сферическим дном. Получение подобных деталей даже из хорошо деформируемых сплавов, часто вызывает трудности в отладки технологического процесса.

На данный момент детали типа полусфера получают с помощью следующих технологий:

- Суперпластичная (газовая) формовка - SPF (SuperplasticForming)
- Горячая листовая штамповка
- Вытяжка пластически деформирующимся пуансоном

Все это технологии крайне трудозатратны, они требуют большое количество вспомогательных материалов, сложной оснастки и оборудования. В данном докладе будет рассмотрена схема глубокой вытяжки тонкостенных оболочек при помощи штампа, в конструкции которого применены два прижима, индуктора, нагревающие перетяжные радиуса штампа, а также охлаждаемый пуансон.

Преимущества данной схемы над вышеперечисленными заключается в: простоте изготовления оснастки; применении универсального прессового оборудования (гидравлический пресс); уменьшении времени производства за счет вытяжки без переходов и промежуточных отжигов; получение оболочек с минимальным утонением.

## **Задача подготовки производственно-технологических данных для планирования выпуска машиностроительной продукции**

Голубев Д.А.

Научный руководитель – Цырков А.В.

МАИ, г. Москва

Сходство и подобие производственных процессов на большинстве машиностроительных производств формируют предпосылки для создания универсальной масштабируемой платформы планирования производства. Сложная структура технологических процессов и большая размерность задач выбора способа обработки, сборки и комплектации выпуска приводят к NP-

полным задачам дискретной математики. Например, на машиностроительных заводах могут участвовать в процессе десятки видов производств, сотни станков, ответственных за создание сотен тысяч номенклатурных позиций деталей. Кроме того, при производственном планировании используются постановки задач объемного, календарного и оперативного планирования.

Из-за достаточной простоты и линейности процессов не рассматриваются особенности детализации рабочих процессов изготовления деталей. Для составления расписаний изготовления деталей достаточным является ввод следующих ограничений и параметров – время на переналадку станка для выпуска нового типа продукции, условия оптимизации количества станков и их параметров. Критерием для определения порядка выпуска деталей является производственный поток. Задача заключается в реагировании модели и возможности создавать гибкие решения с учетом меняющихся потребностей предприятия, зависящих от рынка.

Наибольшее внимание затрагивают вопросы построения моделей технологического состава изделий. В этих задачах промежуточные сборочные единицы, их создание, обуславливается необходимостью построения производственного потока, так как именно состав и взаимосвязи сборочных единиц, в конечном счете, определяют все характеристики потока. Эти связи значительно усложняют задачу построения расписания работ и требуют специальных методов для ее решения.

Еще одним важным критерием успешности решения задачи являются трудозатраты на поддержку адекватности конструкторского и технологического составов изделий. Это особенно важно при изготовлении сложных технических систем, повергаемых значительному количеству измерений, как в период изготовления, так и на протяжении всего периода выпуска конкретного изделия.

Цель задачи сводится к максимально эффективному использованию трудовых ресурсов при сопровождении производственно-технологических данных для планирования дискретного производства. Ее успешное решение можно оценивать по величине и динамике измерений незавершенного производства.

Научная новизна задачи состоит в формализации метода подготовки данных для разных способов планирования и разного уровня детализации решений. Например, задача может быть формализована как задача оптимизации (линейной или нелинейной), как задача динамического программирования, как задача оптимизации потока на графе, задача в классе задач объемного и календарного планирования и так далее.

## **Исследование утонения стенки цилиндрических деталей из алюминиевых сплавов**

Гончаров А.В., Гуков Р.Ю.

Научный руководитель – Ковалевич М.В.

МАИ, г. Москва

В листовой штамповке широкое распространение получил процесс пневмотермической формовки – формовка заготовки избыточным давлением газа при оптимальных температурно-скоростных условиях. Данный процесс позволяет изготавливать детали сложной геометрической формы с более

высоким качеством поверхности за меньшее время, что вызывает повышенный интерес в аэрокосмической отрасли.

Поставлена задача определения зависимостей максимального утонения материала от геометрических параметров при пневмотермической формовке деталей различных типовых форм. Ниже приведены данные, полученные при исследовании формовки деталей цилиндрической формы.

Для решения поставленной задачи проведено математическое моделирование цилиндров различной конфигурации из сплава АМг6М в программном комплексе PAMSTAMP 2G.

Моделирование проводилось для групп цилиндров с радиусом  $R=80$  мм и толщиной  $S=2$  мм. В результате моделирования получены диаграммы в осях  $S'/R'$  для различных  $H'$ .

С помощью линейной аппроксимации построены прямые, получены коэффициенты  $a$  и  $b$  для аппроксимирующих прямых и построены соответствующие графики  $a(H')$  и  $b(H')$ .

Подставив полученные значения коэффициентов  $a(H')$  и  $b(H')$  в уравнение прямой, получена приближенная зависимость для определения минимальной толщины стенки для цилиндров  $R=80$  мм.

Апробация полученных зависимостей проводилась на оборудовании кафедры. Толщина детали измерялась индикатором часового типа ИЧ-10. Результаты эксперимента и моделирования показали хорошую сходимость.

Проанализировав результаты моделирования цилиндров был составлен график-рекомендация по подбору формы цилиндров в зависимости от требуемого утонения –  $[S/S_0] \times 100\%$ . Данный график является рекомендацией для конструкторов и технологов, позволяющий упростить проектирование деталей, имеющих оптимальные массовые характеристики, сэкономить время на разработку деталей, зная к какой области относительных параметров должна принадлежать деталь.

Таким образом, для цилиндрических деталей оптимальными считаются следующие соотношения:

1. Для зоны с утонением  $>78\%$  целесообразно применять обычную формовку либо вытяжку;
2. Зона с утонением  $45-78\%$  ( $0,1 < H' < 0,75$  и  $0,05 < R' < 0,7$ ) наиболее оптимальна для применения технологии ПТФ;
3. Для зоны с утонением  $25-45\%$  рекомендуется предварительная вытяжка для набора материала из зоны фланца с последующей пневмоформовкой;
4. Для зоны с утонением  $16-25\%$  (для деталей с  $H' > 0,8$  и  $R' < 0,5$ ) использование технологии ПТФ не целесообразно.

## **Применение аддитивной технологии послойного синтеза в создании конструкторских моделей**

Дудков К.В.

Научный руководитель – Астапов В.Ю.

МАИ, г. Москва

Аддитивные технологии, или технологии послойного синтеза – сегодня одно из наиболее интенсивно развивающихся направлений производства. Технологии

быстрого прототипирования нашли свое применение совершенно в разнообразных областях. Но они не являются абсолютной заменой «традиционных» технологий по ряду параметров.

Одним из важнейших аспектов большинства аддитивных технологий можно назвать длительный процесс создания прототипа, как следствие ориентированность на штучное или мелкосерийное производство. Вышеуказанный тип производства является свойственным для аэрокосмической отрасли промышленности.

Модели можно условно разделить на: функциональные, которые можно использовать в изделиях, и прототипы – модели, которым требуется дальнейшая доработка или которые являются промежуточным звеном перед окончательной деталью или узлом. Также при создании новых изделий присутствуют такие моменты, как конструкторская и технологическая привязка изделия. После создания трехмерной модели и документации изготавливают опытный образец, на котором будут максимально отработаны все технологические моменты и будут учтены в конструкторской документации. Все эти мероприятия необходимы для получения технологичного изделия.

В данной работе при создании нового изделия была разработана трехмерная модель узла, обладающего обширной обвязкой трубопроводами. При изготовлении трассы используются эталонные трубы, которые протягиваются по месту, на изделии. Цикл изготовления изделия может достигать несколько лет. Принимая в расчет сложную геометрию изделия и сложно скоординированное пространственное расположение стыков горловин и всевозможной арматуры, приходится протягивать трубопроводы вручную.

Чтобы ускорить процесс подготовки производства по имеющейся внешней трехмерной модели обстановки была создана трехмерная модель в натуральную величину. Все элементы после предварительной примерки были собраны при помощи клеевых и болтовых соединений. Трубопроводы были проброшены в соответствии с конструкторской документацией и впоследствии стали эталонными для изготовления штатных элементов пневмо- и гидросистемы агрегата.

## **Листовая штамповка деталей сферической формы**

Дьячков А.А.

Научный руководитель – Шпунькин Н.Ф.

МГМУ (МАМИ), г. Москва

Изделия в виде сфер, а также детали, элементы которых имеют сферические поверхности, широко распространены в различных отраслях промышленности. Многие из них получают применением методов холодной объемной и листовой штамповки. К таким изделиям можно отнести различные виды днищ (ресиверов, цистерн и т. п.), рефлекторы фар, посуду, изделия художественного назначения и многое другое.

В результате проведенных исследований были изучены и разработаны две технологии получения сфер с использованием плоской листовой и трубной заготовок. В первом случае технологический процесс включает в себя следующие операции: вырубка заготовки, вытяжка полусферического

полуфабриката с фланцем, обрезка технологического припуска, окончательная вытяжка, обжим цилиндрической части с превращением её в продолжение полусферической поверхности, полученной при вытяжке. Поскольку деталь является осесимметричной, заготовка для неё будет иметь форму круга, диаметр которого определяется из условия равенства площадей поверхности заготовки и сферической детали с припуском на обрезку. Полуфабрикат после операции вытяжки имеет полусферическое дно, цилиндрическую стенку и плоский фланец.

Операция обрезки технологического припуска проводится для удаления неровного края фланца, образовавшегося при вытяжке из-за анизотропии листового металла. После обрезки кромка фланца снова приобретает форму круга, что обеспечивает одинаковую высоту стенки детали при выполнении следующей операции. При выполнении окончательной вытяжки у детали формируется цилиндрическая стенка без фланца с кромкой, лежащей в одной плоскости. После проведения операции обжима цилиндрическая стенка полуфабриката преобразуется в сферическую, являющуюся продолжением поверхности полусферы, полученной при вытяжке. Технология позволяет получать пустотелые шары с отверстием, размеры которого можно изменять, применяя на последней стадии формоизменения не одну, а две или несколько операций обжима. Если в качестве заготовки применить листовой биметалл, один из слоёв которого, располагающийся на наружной поверхности сферы, представляет собой материал с особыми свойствами (например, антифрикционный или износостойкий), то способ можно использовать для изготовления сферических вкладышей для шаровых шарнирных узлов. Операцию обжима при этом можно применить как сборочную, для закрепления вкладыша на детали шарнира с выпуклой сферической поверхностью.

### **Применение ультразвука в технологическом процессе клёпки**

Кузнецов С.Ю.

МАИ, г. Москва

На сегодняшний день в самолето- и вертолетостроении нашли применение самые различные виды соединений, такие как сварные, клеевые, паяные, болтовые и клепанные. Особый интерес до сих пор представляют именно клепанные соединения, поскольку, по сравнению со сварными и паяными, они позволяют соединять разнородные и не поддающиеся сварки материалы, обладающие к тому же разной прочностью (сталь и оргстекло). По сравнению с болтовыми соединениями, заклепочные хоть и не создают больших осевых напряжений, однако сам процесс постановки заклепки проще и состоит из меньшего числа операций, поскольку нет необходимости в чистовой и пластической обработке отверстия, а также отсутствует необходимость в контроле усилия затяжки. Наиболее перспективным видом соединения является склейка, однако она не обладает значительной долговечностью, плохо работает в при высоких температурах, а также негативно воспринимает вибрации. Все эти проблемы удалось решить в заклепочных соединениях, и потому они особенно хорошо проявляют себя в наиболее нагруженных местах конструкции, подверженных интенсивным переменным и вибрационным нагрузкам.

Заклепочные соединения традиционно принято разделять на две большие группы: стержневые и специальные. Стержневые заклепки обычно различаются только формой головки, в зависимости от места их применения, когда есть необходимость в учете условий эксплуатации соединения, будь то набегающий воздушный поток, агрессивная внешняя среда, или же соединению подлежат разнопрочные материалы. Специальные заклепки применяются в тех местах конструкции, к которым предъявляются особые требования либо в них невозможен подход с обеих сторон.

Из существующих проблем, связанных с заклепочными соединениями, следует отметить неравномерное распределение радиальных напряжений по толщине соединяемых деталей, вызванных давлением стержня осаживаемой заклепки на стенки отверстия в процессе клепки. По этой причине в процессе эксплуатации возникает множество проблем, среди которых можно выделить нарушение герметичности соединения, а также развитие явлений фреттинг-коррозии.

Если уже конкретно рассматривать перспективы применения ультразвука в процессе клепки, то необходимо сказать, что ультразвук, применяемый в процессе пластического деформирования оказывает влияние не только на контактные явления, но также на структуру материала и на его напряженно-деформированное состояние.

Применение ультразвуковых колебаний позволяет уменьшить статическое напряжение текучести материала аналогично нагреву, только требуется для этого куда меньше энергии. Это обстоятельство позволяет ожидать значительного снижения усилий необходимых для формирования замыкающей головки в процессе клепки.

Касательно структурных изменений, ультразвук позволяет повысить плотность дислокаций в материалах, что влечет за собой повышение предела прочности, пусть и с незначительным снижением пластичности материала.

Изменение контактных явлений при действии ультразвука, проявляется в снижении сил трения, как на границе контакта деталь-инструмент (точение, сверление, нарезание резьбы), так и на границе сопрягаемых поверхностей (вал с запрессованной втулкой). Это позволяет ожидать снижения сил трения при постановке крепежа с гарантированным натягом, когда требуются большие усилия для запрессовки болтовых или болт-заклепочных соединений.

В процессе герметизации заклепочных соединений, ультразвук, в силу кавитационных явлений, позволяет значительно сократить период вулканизации герметика и добиться лучшего его перераспределения в отверстиях.

## **Влияние структуры тканых наполнителей на кинетику процесса пропитывания изделий из ПКМ**

Марычева А.Н.

Научный руководитель – Малышева Г.В.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Показано, что на продолжительность процесса пропитывания большое влияние оказывает технология подачи связующего и угол, под которым связующее проходит по ткани. Установлено, что при фронтальной подачи

связующего, при уменьшении сетевого угла имеет место увеличение продолжительности процесса пропитывания, а при подачи связующего под углом  $45^\circ$ , имеет место противоположная зависимость и при уменьшении сетевого угла время процесса пропитывания также уменьшается.

Ключевые слова: углепластики, стеклопластики, пропитка, сетевой угол, моделирование, метод конечных элементов.

Прямые методы формования, такие как, пропитка под давлением (ResinTransferMolding, RTM), пропитка под вакуумом (VacuumAssistedResinTransferMolding, VARTM) и др. получают все большее применение, что связано с их экономичностью и высоким качеством изготавливаемых изделий [1-3]. По сравнению с препреговыми технологиями, такие методы не позволяют оценить качество процесса пропитывания до момента получения готового изделия. При разработке технологических режимов с использованием прямых методов формования, чаще всего, используется метод «проб и ошибок», что существенно удлинняет продолжительность процесса разработки технологических режимов и приводит к перерасходу материалов [4, 5].

Цель настоящей работы состоит в моделировании скорости пропитывания связующим тканых наполнителей при изготовлении деталей двойной кривизны из стекло- и углепластиков.

В настоящей работе с использованием программного обеспечения PAM-RTM. Для проведения моделирования в стандартных пакетах 3D графики, например, в пакете SolidWorks строится геометрическая модель изделия. Далее она транслируется в пакет конечно-элементного анализа Ansys, где стандартным образом разбивается на конечные элементы. Следующим шагом является перенос созданной модели в программу PAM-RTM, где задаются свойства исходных материалов.

В работе проведено моделирование кинетики процесса пропитывания в зависимости от двух факторов: величины сетевого угла и величины угла, под которым подается связующее.

В результате проведенных расчетов установлено, что на продолжительность процесса пропитывания большое влияние оказывает угол, под которым связующее проходит по ткани. При фронтальной подачи связующего, при уменьшении сетевого угла имеет место увеличение продолжительности процесса пропитывания.

При подачи связующего под углом  $45^\circ$ , имеет место противоположная зависимость и при уменьшении сетевого угла время процесса пропитывания также уменьшается. Для образца из стеклянной ткани, наименьшее время (при фронтальной пропитки) составляет 141 сек, а при изменении угла подачи связующего с  $90^\circ$  до  $45^\circ$  продолжительность уменьшилась до 96 сек. Время пропитывания углеродной ткани меньше, чем стеклянной и при фронтальной пропитке его наименьшее значение составляет 64 сек. Изменение угла подачи связующего приводит к уменьшению времени процесса пропитывания до 45 сек.

Особенностью изделий двойной кривизны является различие в значения сетевых углов в различных точках изделия, что приводит к изменению линейной плотности и неравномерности процесса пропитывания. В зависимости от используемой технологии формования RTM или VARTM имеет место

изменение кинетики процесса пропитывания. Наименьшее время пропитывания для одного и того же изделия, получено при использовании технологии RTM, которое на 25% меньше, чем при использовании технологии VARTM.

В работе исследовано влияние на кинетику процесса пропитывания типа используемого тканного наполнителя и установлено, что при пропитывании стеклянных тканей требуются большие временные затраты, чем при пропитывании углеродных (для одного и того же типа плетения).

В результате проведенных расчетов установлено, что на продолжительность процесса пропитывания большое влияние оказывает технология подачи связующего и угол, под которым связующее проходит по ткани. При фронтальной подачи связующего, при уменьшении сетевого угла имеет место увеличение продолжительности процесса пропитывания.

Список литературы

Бородулин А.С., Малышева Г.В., Романова И.К. Оптимизация реологических свойств связующих, используемых при формовании изделий из стеклопластиков методом вакуумной инфузии // Клеи. Герметики. Технологии. 2015. № 3. С.40-44.

Резник С.В. Актуальные проблемы проектирования, производства и испытания ракетно-космических конструкций // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 3 (15). С.25.

Михайловский К.В., Резник С.В., Юрченко С.О. Прогнозирование зарождения и эволюции дефектов в материалах композитных конструкций многоразовых космических аппаратов на основе многомасштабного математического моделирования // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Приборостроение. 2010. № 5. С.30-43.

Миронов Ю.М., Храповицкая Ю.В., Макеев М.О., Нелюб В.А., Бородулин А.С., Чуднов И.В., Буянов И.А. Оценка структурных дефектов углеродных волокон и полимерных композиционных материалов на их основе // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2011. № 11. С.57.

Малышева Г.В., Ахметова Э.Ш., Шимица Ю.Ю. Оценка температур фазовых переходов полимерных связующих методом дифференциально-сканирующей калориметрии // Клеи. Герметики. Технологии. 2014. № 6. С.29-33.

## **Выбор компоновки роботизированных сборочных модулей при проектировании**

Митрофанов А.В.

Научный руководитель – Аббясов В.М.

МГМУ (МАМИ), г. Москва

Любой сборочный модуль можно представить, как систему, состоящую из  $n$  последовательно соединенных элементов (сборочных головок, роботов и манипуляторов, загрузочных устройств, пневмо- и гидрооборудование, электрооборудование). Если ставится задача повышения надежности сборочного оборудования до заданного значения повышением надежности комплектующего модуль оборудования, то при наличии уже разработанных конкретных способов повышения надежности каждого составляющего модуль узла.

Для определения оптимального распределения вероятности безотказной работы между комплектующими узлами сборочного модуля используется метод уравнивания чувствительности по этим узлам. Чувствительностью сборочного модуля по  $i$ -му узлу называется скорость изменения вероятности  $P$  безотказной работы модуля в зависимости от изменения его стоимости  $C$  при условии изменения этих величин только за счет вероятности безотказной работы  $i$ -го узла.

Искомые значения  $P_i$  комплектующих узлов подбираются графо-аналитическим способом так, чтобы чувствительности  $l_i$  были равны такой оптимальной чувствительности  $l_0$ , при которой вероятность безотказной работы модуля равна заданной и равны между собой.

Разработанная программа моделирования работы гибких сборочных автоматизированных линий дает возможность путем изменения вариантов задачи выбрать количество позиций и тип связей между позициями линии сборки (жесткая, гибкая, комбинированная), определить концентрацию сборочных механизмов на каждой позиции, расположение заделов и их объемы, общее количество спутников, скорость их перемещения, компоновочные размеры линии и т.д. С использованием статистических данных о точности деталей, поступающих на сборку, возможно установить величину коэффициента технического использования  $\eta$  с учетом не только функциональных отказов, но и технологической и структурной надежности.

### **Применение современных инверторных сварочных источников с программами управления дугой**

Морозов В.А., Телеш А.В.

Научный руководитель – Фролов В.А.

МАИ, г. Москва

Сварка затруднена рядом проблем из-за применения узлов и деталей различной толщины и состава используемых материалов. Хотя наиболее универсальный на данный момент способ полуавтоматической сварки плавящейся электродной проволокой и компенсирует ряд недостатков, всех недочётов он не устраняет. По этой причине в современных инверторных аппаратах, применяемых для сварки, становятся популярно использование синергетического режима и сопутствующего ему специализированного комплекса программ для управления динамикой дуги.

Электрическая дуга постоянно контролируется микропроцессором, который управляет процессом сварки в реальном времени: все параметры моментально обрабатываются и модифицируются за несколько микросекунд, блок управления в цифровой форме регулирует короткие замыкания, типичные для сварки MIG/MAG, поддерживая дугу в стабильном состоянии, несмотря на изменения внешних условий. Таким образом, перемещение горелки, неоднородность свариваемых деталей и другие факторы не влияют на конечный результат. Процесс сварки всегда находится под контролем, начиная с зажигания дуги и заканчивая прерыванием дуги.

В частности, по программе обновления устаревшего оборудования, рядом предприятий были приобретены универсальные установки для MIG/MAG, TIG,

а также MMA с предустановленной программой vision.ULTRASPEED, которая обеспечивает значительное увеличение скорости сварки за счёт усиления магнитного поля дуги. Благодаря этому процессу не происходит перегрева и усадочной деформации основного материала и, следовательно, не требуется вторичной и финишной обработки заготовки.

Результатом практического внедрения оборудования с данной программой при изготовлении сельскохозяйственной техники стало повышение скорости сварки с 1,5 до 2 метров в минуту изделий из углеродистой стали средних толщин (до 4,0 – 5,0 мм), снижение образования брызг за счёт более плавного переноса расплавленного присадочного металла, а также значительное сокращение расхода присадочной проволоки. К выше описанным достоинствам также относится, как следствие, снижение трудоёмкости и затрат на производство изделий, улучшение эргономики рабочего места сварщиков и повышение количества единиц выпускаемой продукции по сравнению с использованием существующего оборудования и технологий.

## **Применение аддитивных технологий в производстве авиационной техники**

Нейперт Т.А.

Научный руководитель – Ковалевич М.В.

МАИ, г. Москва

Одним из открытий недавнего времени, имеющих огромную перспективу для промышленного сектора, является аддитивная технология производства объекта.

Аддитивные технологии (чаще именуемые как 3D печать) – это общее название для технологий изготовления изделия по данным цифровой модели методом послойного добавления материала, а не удалением его из заготовки, как это происходит в традиционных технологий обработки. Современные промышленные 3D-комплексы позволяют печатать изделия из металлических, керамических, композиционных, металлокерамических, пластиковых порошков и жидких полимеров.

3D печать медленно, но уверенно внедряется в различных отраслях производства. Главное направление – это машиностроение. Оборудованию, работающему по аддитивной технологии, достаточно компьютерной модели, то есть конструктор может создавать совершенно новые формы, не задумываясь о производственных ограничениях.

Немного все сложнее в производстве деталей для авиационной и космической техники. Из-за высоких требований к надежности летательных аппаратов требуется полноценное исследование свойств материалов и испытания конструкций, полученных при помощи аддитивных технологий. Так же важной задачей является определение области применения технологий исходя из экономических соображений.

Нет необходимости использовать аддитивные технологии для изготовления деталей, геометрию которых легко получить традиционными фрезерованием или литьем.

Отдельным направлением в использовании 3D печати в самолетостроении является изготовление различных конструкций для испытаний. Например, моделей для продувки в аэродинамических трубах.

В России до недавнего времени число 3D принтеров исчислялось единицами, а порошки материалов, с помощью которых и создаются слои изделия, вообще не производились. Сейчас же открываются заводы по производству металлических и полимерных порошков, разрабатываются отечественные аналоги 3D принтеров, ведутся исследования. Лидер в этом направлении в России ВИАМ. В настоящий момент в институте производят завихритель фронтного устройства камеры сгорания для перспективного двигателя ПД-14. Раньше процесс создания комплекта таких завихрителей занимал около двух месяцев, сейчас же на весь цикл требуется всего 5 дней.

В настоящее время с целью более глубокого ознакомления с возможностями технологии и обобщения опыта ведется работа по созданию классификации изделий авиационной техники с точки зрения возможности применения аддитивных технологий для их создания. В основу классификации положены геометрические формы и свойства исходного материала. В результате для каждой группы деталей определяется статус: целесообразно, допустимо или целесообразно.

### **Обеспечение качества соединений в конструкциях из композитных материалов**

Пешехонов С.В.

Научный руководитель – Кондрашов В.З.

МАИ, г. Москва

В настоящее время рост спроса к новым моделям авиационной техники порождает потребность в создании новых материалов для её изготовления. Композиционные материалы (КМ) благодаря своим характеристикам успешно внедряются в авиационную и космическую технику. Одной из важных задач при создании конструкций из КМ является выбор вида соединения и процесса его выполнения.

Каждое соединение обладает своими особенностями и недостатками. Проблемой является сохранение плотности стыка и обеспечение стабильности затяжки болтовых и клепочных соединений, выбор того или иного из них при проектировании изделий зависит от ряда факторов: физико-механических свойств материалов, условий эксплуатации, реализуемости, а также от условий образования отверстий и выполнения соединений. Этими параметрами обуславливается выбор инструмента и оборудования для обеспечения качества соединения, исходя из требуемых свойств. Применение стандартных сверл и сверлильных машин не могут обеспечить качество отверстия из-за возникновения проблем. Анализ показал, что применение специальных сверл, которые отличаются от обычных геометрией режущей кромки, шириной канавки, материалом и сверлильных машинок с регулируемой величиной подачи сверла позволяют управлять величиной усилия резания, уменьшить абразивное действие пылевидной стружки и исключить расслоение КМ при образовании отверстий.

В следствие ряда специфических свойств КМ, в частности сравнительно невысокого модуля упругости в процессе формирования замыкающей головки, возникают большие деформации в зоне отверстия. Из-за малой величины относительного удлинения КМ ( $\delta=1\div 5\%$ ) и их склонности к хрупкому разрушению эти деформации могут привести к разрушению связующего и расслоению материала уже на этапе расклёпывания заклёпки и постановки болта, что вызывает снижение прочности и выносливости соединения. Кроме этого, при постановке болта с натягом происходит расслоение материала пакета. Величина натяга КМ имеет предел, который в несколько раз меньше, чем у лёгких сплавов и сталей. Снижение деформаций отверстия происходит при уменьшении усилия осадки, которая достигается за счёт изменения объёма деформируемого материала стержня заклёпки, при использовании специальных заклёпок с глухими отверстиями и клепки давлением с раскаткой. Важным фактором повышения работоспособности точечных соединений является наличие осевого натяга достаточной и стабильной величины. Возможность обеспечения этого фактора наилучшим образом реализуется в болт-заклепном соединении, где независимо от квалификации исполнения достигается усилие сжатия пакета в пределах 60...70 % от разрушающей нагрузки стержня. Осевой натяг в болт-заклепном соединении обеспечивается в сочетании с радиальным.

### **Совершенствование технологии изготовления конструкции лонжерона из композиционных материалов**

Ревазов М.В.

Научный руководитель – Кондрашов В.З.

МАИ, г. Москва

Совершенствование аэродинамических характеристик планера летательных аппаратов с одновременным обеспечением весовой эффективности и технологичности во многом решается за счет применения в конструкциях авиационной техники полимерных композиционных материалов, которые благодаря своим уникальным свойствам нашли широкое применение в силовых конструкциях авиакосмической и других видов техники, и в настоящее время объем их применения достиг 80% от массы планера самолетов, обеспечивая её снижение на 20-30%.

Целью и задачей исследования является совершенствование конструкции и технологии изготовления лонжерона. Для этого мной были проанализированы связующие, углеродные наполнители, клеевые препреги на их основе и наполнители, используемые в 3-х слойных конструкциях.

Анализ показал влияние эпоксидных олигомеров и полисульфонов различного строения на теплостойкость, прочность клеювого связующего и отверждающей системы в составе клеювого связующего, что позволило снизить температуру отверждения с 180 до 150 °С. А также, оценить влияние прочностных свойств углеродных наполнителей на основные характеристики композиционных материалов клеювых.

Анализ показал, что композиционный материал марки ВКУ-34КУОЛ(У) с уровнем прочности при растяжении 1700 МПа, прочностью при сжатии

1020МПа, модулем упругости при растяжении 125ГПа, отверждающийся при температуре 150-160°С, по механическим характеристикам выше используемого материала КМКУ-2м.120Э0,1. Что позволяет увеличить прочностные характеристики изготавливаемых изделий и снизить температуру отверждения с 180 до 150°С.

Анализ и выбор наполнителя для изготовления трехслойной конструкции показал, что при использовании ПМИ пенопластов взамен сотового блока ПСП-1 позволит технологически упростить формовку изделий, не существенно повлияв на его прочностные характеристики.

Высокая жидкотекучесть связующего позволит снизить его объемное содержание и повысить прочность композиционного материала.

Использование современных композиционных материалов и замена сотового блока на ПМИ пенопласт позволит уменьшить количество этапов изготовления конструкции, объем технологической оснастки и разработать экономически выгодную технологию автоклавного формования лонжерона.

### **Моделирование локальных температур процесса эльборового шлифования с наложением ультразвуковых колебаний**

Сарайнов Н.Е.

Научный руководитель – Унянин А.Н.

УлГТУ, г. Ульяновск

Повышение эффективности шлифования с использованием энергии ультразвуковых колебаний (УЗК) во многом связано со снижением тепловой напряженности процесса. На работоспособность шлифовального круга и качество поверхностного слоя обработанной детали оказывают влияние, преимущественно, локальные температуры. Перспективным направлением повышения эффективности процесса шлифования является применение кругов из сверхтвердых абразивных материалов, в том числе эльборовых, поэтому исследование температурного поля при шлифовании этими кругами с наложением УЗК представляет актуальную задачу.

Моделирование температурного поля выполнено на основе совместного решения дифференциальных уравнений теплопроводности, записанных для каждого из взаимодействующих объектов, и учитывающих скорости их относительного перемещения (абразивных зерен относительно заготовки и стружки относительно зерен). Невозможность априорного определения плотностей распределения тепловых потоков между контактирующими объектами, изменение положения зон контакта и размеров заготовки во времени, необходимость учета теплофизических свойств объектов и механических свойств заготовки от температуры ограничивает использование аналитических методов решения дифференциальных уравнений теплопроводности, поэтому уравнения решали численным методом. Разработаны методика, алгоритм и пакет программ численного решения задачи с применением метода конечных элементов.

Численное моделирование температур выполнено при следующих исходных данных: плоское многопроходное шлифование периферией круга; материал заготовки – коррозионностойкая сталь 12Х18Н10Т; материал абразивного зерна

шлифовального круга – эльбор марки ЛКВ зернистостью 125/100; рабочая скорость круга 35 и 70 м/с (скоростное шлифование); скорость продольной подачи 10 м/мин; глубина шлифования 0,01 мм. Моделировали наложение на заготовку УЗК частотой 22000 Гц с различной амплитудой (в направлении, перпендикулярном обрабатываемой поверхности) и фазой. Фиксировали локальные температуры в зоне контакта режущего зерна с заготовкой и в зоне контакта зерна со стружкой при движении через зону шлифования первого из последовательно работающих абразивных зерен, т.е., когда диспергируется материал заготовки, не прогретый в результате микрорезания предыдущими зернами.

Из результата моделирования температур следует, что с увеличением рабочей скорости шлифовального круга вследствие увеличения мощности источников тепловыделения увеличиваются и локальные температуры. При шлифовании без наложения УЗК с увеличением скорости до 70 м/с температура в зоне контакта зерна с заготовкой и со стружкой увеличивается на 13 и 26 % соответственно.

При наложении УЗК амплитудой 2 мкм, не превышающей глубину внедрения зерна в заготовку (зерно не выходит из контакта с заготовкой при наложении УЗК), температуры в зоне контакта зерна с заготовкой и со стружкой оказались ниже, чем без наложения УЗК, на 12 и 15 % при скорости круга 35 м/с и на 13 и 17 % при скорости 70 м/с. Следовательно, с увеличением скорости круга наложение УЗК обеспечивает снижение температур в несколько большей степени. При наложении УЗК амплитудой 3 мкм, превышающей глубину внедрения зерна в заготовку (зерно выходит из контакта), температуры снизились почти в 2 раза.

Основной причиной снижения температур является уменьшение предела прочности материала заготовки и кинематики микрорезания при наложении УЗК.

## **Разработка системы теплозащиты контейнера с оборудованием с применением теплоаккумулирующего материала ТАМ-ИГИ**

Сухорончак Б.П.

Научный руководитель – Шемонаева Е.С.

МАИ, г. Москва

В настоящее время существует тенденция к увеличению таких характеристик летательных аппаратов, как скорость и высота полета. Кроме того, на борту летательного аппарата размещается большое количество различного оборудования, выделяющего тепло. В связи с этим остро встает вопрос о тепловых перегрузках и борьбе с ними, поскольку оборудование и приборы требуют поддержания определенных условий, необходимых для нормального функционирования.

Для решения этого вопроса в современных летательных аппаратах используются различные системы кондиционирования, реже криогенные системы охлаждения или термоэлектрические системы теплозащиты. Основными критериями эффективности, определяющими целесообразность применения той или иной системы теплозащиты, являются критерии надежности и экономичности, весовые характеристики, габаритные размеры и

простота эксплуатации. Существующие решения проблемы теплозащиты оборудования и приборов летательных аппаратов имеют некоторые недостатки, как в части конструктивного решения, так и при определенных режимах полета. Все это делает вопрос разработки новой, удовлетворяющей большему числу критериев эффективности, системы защиты оборудования и приборов летательного аппарата от тепловых перегрузок актуальным.

Основываясь на накопленном опыте и знаниях в области проектирования систем теплозащиты, можно предположить, что при кратковременных режимах работы, небольших тепловых нагрузках или чередующихся циклах нагрева и охлаждения становится возможным применение теплозащитных систем на основе теплоаккумулирующих материалов. Применение теплоаккумулирующих материалов позволяет повысить весовые показатели системы охлаждения в 2-6 раз по сравнению с традиционно применяемыми системами охлаждения. Кроме того, рассматриваемая система безотказна в работе и автономна, а стоимость такой системы в 2-3 раза ниже по сравнению с системой кондиционирования.

Существует теплоаккумулирующий материал ТАМ-ИГИ, который имеет ряд особенностей по своим физическим свойствам, что делает возможным его применение не только для теплозащиты от внешних тепловых потоков, но и для отвода тепловыделения оборудования. Такой материал позволяет использовать его в удаленных точках и недоступных для обслуживания местах летательного аппарата, в герметичных полостях. Кроме того, он позволяет обеспечивать дифференцированный диапазон температур оборудования и приборов летательного аппарата.

В работе проводится разработка системы теплозащиты контейнера с оборудованием с применением теплоаккумулирующего материала ТАМ-ИГИ. На первом этапе ведется расчет тепловых потоков, действующих на контейнер с оборудованием. На втором этапе определяется количество тепла, воздействующего на рассматриваемый контейнер. На основании полученных данных определяется необходимая толщина теплоаккумулирующего материала ТАМ-ИГИ. В связи с особенностями применения рассматриваемого материала приводятся рекомендации по монтажу разработанной системы теплозащиты на контейнер с оборудованием.

### **К вопросу о повышении ремонтпригодности силовых композиционных конструкций при боевых повреждениях**

Третьяков Е.А., Шимчишин А.С.

Научный руководитель – Сажин А.Н.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

Перспективность использования полимерных композиционных материалов (ПКМ) в различных отраслях техники определяется их широким спектром различных свойств: высокими значениями удельной прочности и жесткости, высокими характеристиками усталостной прочности, сопротивляемостью коррозии, радиопоглощающими или радиопрозрачными свойствами и другими.

Современные ПКМ нашли применение, в первую очередь, в авиационной и космической технике, для которых, наиболее важным, является снижение массы конструкции при одновременном повышении ее прочности и жесткости, что в

свою очередь существенно увеличивает полезную нагрузку, а значит и эффективность применения ЛА. Однако, применение этих новых материалов – углепластиков, боропластиков, органопластиков, стеклопластиков, перспективных технологий их изготовления существенно опередили разработку методов их ремонта, особенно при наличии боевых повреждений.

В настоящее время для оперативного ремонта поврежденных силовых элементов планера из композиционных материалов (панели крыла, оперения и фюзеляжа) применяются различные технологии, предусматривающие установку ремонтных накладок клеємеханическим способом с использованием крепежных элементов из традиционных металлических материалов. Это приводит к следующим существенным недостаткам получения ремонтного соединения:

- повышенная чувствительность металлических крепежных элементов при соединении композиционных конструкций к воздействию внешней среды с высокой влажностью, приводящее к их интенсивной коррозии;
- высокая чувствительность к соблюдению технологической дисциплины в процессе сборки и ремонта агрегатов планера, выполненных из ПКМ (возникновение трещин и сколов вокруг крепежного элемента при применении ударной и прессовой клепки);
- все крепежные элементы из металлических материалов по своей сути являются несовместимыми с соединяемыми деталями, если последние выполнены из полимерных композиционных материалов;
- крепежные элементы из традиционных металлических материалов обладают сравнительно большой массой.

Таким образом, традиционные подходы при проектировании соединений или ремонте конструкций из ПКМ с учетом взаимодействия природно-климатических, эксплуатационных и технологических факторов приводит к снижению прочностных характеристик авиационных конструкций из композитов и может свести на нет все преимущества таких конструкций.

Для повышения эффективности применения ПКМ в конструкции современных ЛА предлагается использование специальных крепежных элементов из композиционных материалов, а также технологий получения ремонтных соединений, позволяющих решить перечисленные выше проблемы. Такие крепежные элементы выполнены из материала аналогичному соединяемым деталям (ПКМ), не предусматривают ударного воздействия при получении соединения, не требуют специальной подготовки инженерно-технического состава и применения сложной технологической оснастки.

### **Оптимальное проектирование облегчённых комбинированных сосудов высокого давления с учётом технологии изготовления**

Филимонова Т.В., Шишкин А.А.

Научный руководитель – Трутнев Н.С.

МГМУ (МАМИ), г. Москва

Баллоны высокого давления применяются в качестве сосудов для хранения топлива в автомобильных транспортных средствах, хранения рабочих сред систем пожаротушения, дыхательных систем, а также в качестве аккумуляторов

энергии сжатого газа в различных пневматических системах, в том числе летательных аппаратов.

В настоящее время в авиационной промышленности применяются металлокомпозитные баллоны с несущей стальной оболочкой, армированной композиционным материалом (КМ) на основе стекловолокна, обеспечивающим безосколочность разрушения. Основным недостатком данной конструкции является избыточная масса вследствие применения большого количества металла.

В работе рассматриваются вопросы проектирования облегченных баллонов для летательных аппаратов, имеющих тонкостенную герметизирующую оболочку (лейнер) и силовую оболочку из КМ на основе современных высокопрочных и высокомодульных волокон. В качестве материала лейнера рассматриваются различные алюминиевые сплавы, для изготовления силовой композиционной оболочки рассматриваются углеродные и арамидные волокна различных марок. Выбрана форма меридиана образующей поверхности, обеспечивающая равнонапряженность комбинированной оболочки.

На основании требований по запасу прочности и стойкости к циклическому изменению давления, предъявляемых к баллонам, определено, что основными критериями для расчета конструкции является прочность и упругость. Критерий упругости характеризует уровень ограничений деформаций материала лейнера композитной оболочкой для обеспечения требуемого ресурса по циклическим нагрузкам.

Известно, что в процессе изготовления металлокомпозитного баллона в результате технологических операций (натяжение при намотке, автофреттирование) в силовой оболочке создаются предварительные напряжения, которые будут повышать упругие характеристики КМ, однако величина этих напряжений ограничивается упругопластическими характеристиками материала лейнера.

На основании существующих методик расчета комбинированных баллонов, дополнительно рассматривая равновесие между предварительными напряжениями в КМ и жесткостью лейнера, проведен расчет массы металлокомпозитных баллонов при различных толщинах стенок лейнеров. На основании расчета построены графики зависимости массы баллона от толщины лейнера, которые имеют точки экстремумов.

Проведенные теоретические исследования показывают, что для различных материалов существуют оптимальные соотношения толщин металла и композита в комбинированном баллоне высокого давления.

## **Применение системы TECHCARD в процессе обучения студентов**

Ховрина К.А.

Научный руководитель – Ковалевич М.В.

МАИ, г. Москва

В современных организациях внедрение информационных технологий и средств автоматизации играет большую роль в повышении эффективности производства. Системы автоматизированного проектирования (САПР) позволяют сократить сроки выполнения работ, повысить их качество,

эффективно управлять изменениями, вести документацию и своевременно получать необходимые отчеты. Автоматизация производства также предотвращает несогласованность этих процессов, которая приводит к задержкам, перерасходу средств и в целом снижает экономическую эффективность. С каждым годом САПР укрепляют свои позиции в области технологической подготовки производства.

Внедрение САПР в производство повышает эффективность труда инженеров, но у разных организаций практика освоения САПР складывалась по-разному. Именно поэтому необходимо, чтобы студенты могли легко адаптироваться, используя знания и опыт, полученные в институте. С этой целью на кафедре «Технологии производства летательных аппаратов» был внедрен комплекс TECHCARD, который позволяет технологам, как крупных предприятий, так и небольших производственных организаций, осуществлять поэтапно всю технологическую подготовку производства в едином конструкторско-технологическом информационном пространстве.

Система TECHCARD поддерживает проектирование технологических процессов обработки деталей для разных видов производства. В системе также можно создавать новые и редактировать имеющиеся формы бланков технологической документации в соответствии со стандартами, принятыми на предприятии ЕСТД, ОСТ, СТП, а также оперативно настраивать комплект технологических документов для любого типа производства.

Важной особенностью системы является возможность гибкой настройки. Параметры системы могут настраиваться в зависимости от статуса пользователя, вида производства и других особенностей решаемых задач.

Для изучения студентами, как технологических курсов, так и курсов, связанных с автоматизированным проектированием, были созданы специализированные базы данных (базы оборудования, оснастки, материала и др.), ориентированные на учебный процесс. Например, оборудование, из соответствующей базы, было привязано к конкретным операциям, что позволяет при разработке техпроцессов значительно уменьшить количество параметров, которые может выбрать пользователь. Тем самым, кроме обучения работы в системе TECHCARD, упрощается процесс разработки технологических процессов и значительно уменьшается количество ошибок.

## **Исследование геометрических параметров заготовок в производстве крутоизогнутых патрубков**

Шемонаева Е.С.

Научный руководитель – Чумадин А.С.

МАИ, г. Москва

Крутоизогнутые патрубки широко используются в трубопроводных пневмо- и гидросистемах различных летательных аппаратов. Они относятся к изделиям ответственного назначения, что влечет за собой повышенные требования по качеству и надежности. В настоящее время известны различные способы изготовления крутоизогнутых патрубков из трубных и листовых заготовок [1,2]. Однако традиционные способы обладают рядом недостатков, таких как

переутонение на внешнем радиусе изгиба, овализация сечения, царапины на внутренней поверхности, невозможность получения деталей сложных форм.

Существует способ формовки предварительно сплюсненной и изогнутой трубной заготовки, который решает ряд недостатков традиционных способов [3]. Сущность заключается в том, что трубную заготовку изначально изгибают на необходимый радиус, а чтобы снять ограничения, сопутствующие процессу гибки (разрушение и гофры), ее перед изгибом сплющивают. Затем заготовку устанавливают в матрицу таким образом, чтобы внутренний радиус изгиба прилегал к внутреннему радиусу изгиба канала матрицы и при помощи внутреннего давления деформирующей среды сечение заготовки восстанавливают. Такой способ позволяет получать изделия с небольшим радиусом изгиба, в том числе сложной формы. Однако вопрос оптимальных геометрических параметров трубной заготовки под формовку (после сплющивания и изгиба) в настоящее время остается неизученным.

В теоретическом плане задача решалась методом конечных элементов с использованием программного комплекса PAM-STAMP, который позволяет моделировать и проводить анализ формообразующих процессов листовой штамповки. Для расчета были выбраны три формы поперечного сечения с различным зазором между стенками трубной заготовки и с различным радиусом зазора. В результате моделирования были определены поля напряжений, деформаций и толщин по образующей получаемой детали, определена форма поперечного сечения заготовки, позволяющая получить бездефектное изделие. Разнотолщинность получаемой из такой заготовки детали не превышает 10%.

Для подтверждения результатов компьютерного моделирования были проведены экспериментальные исследования на трубных заготовках из материала АМг6М, АМг3М диаметром 30 мм и толщиной стенки 1,5 мм.

В результате установлено, что компьютерное моделирование процесса формовки в программном комплексе PAM-STAMP удовлетворительно согласуется с результатами эксперимента, погрешность не превышает 10-12%. Кроме того, сформулированы краткие технологические рекомендации для геометрических параметров формы поперечного сечения трубной заготовки.

#### Литература

Чумадин А.С. Теория и расчеты процессов листовой штамповки (для инженеров). Второе издание – М: «Экспосервис «ВИП», 2014. – 216 стр.

Чумадин А.С., Шемонаева Е.С. Изготовление крутоизогнутых элементов формовкой трубных заготовок. //Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2013. № 6. С. 15-18.

Воронков А. В., Логунов Л. П., Чумадин А. С., Шемонаева Е. С./ Способ гибки труб с образованием колен повторяющейся формы. Патент РФ № 2534483 МПК С1 В 21 D 9/00.31.07.2013.

## Диагностический контроль соединителей

Шишко А.Ю., Казаков С.И.

Научный руководитель – Медведев А.М.

МАИ, г. Москва

При производстве межблочных соединителей (проводов, кабелей) для бортовой аппаратуры авиационной и ракетно-космической техники важной является задача контроля проводов на скрытые дефекты. Стандартные средства контроля не позволяют диагностировать такие дефекты проводов, например, как микротрещины и локальные утончения по ширине.

В решении вопроса контроля таких дефектов может помочь нагружение электрическим током высокого значения контроля проводника [Л]. В соответствии с законом Джоуля-Ленца, происходит более интенсивное нагревание дефектных участков. Вследствие того, что электрическое сопротивление прямо пропорционально температуре, в проводнике образуются зоны повышенного сопротивления. Скорость падения напряжения на таких участках будет выше, чем на бездефектных, что позволяет говорить о наличии неисправностей в тестируемом проводе. Критерием качества в данном методе является время отсечки, устанавливаемое по минимально допустимому значению поперечного сечения проводника.

Целью работы является экспериментальная проверка работоспособности данного метода.

В ходе работы проведён следующий эксперимент. Семижильный медный провод, жилы которого не покрыты изоляцией, подключался к источнику постоянного тока. Напряжение на концах провода измерялось при помощи цифрового осциллографа в момент подачи тока. Имитация дефектов провода производилась последовательным перекусыванием жил и анализировались полученные с осциллографа графики.

Для повышения точности и уменьшения влияния внешних факторов, используется мостовая схема измерения. Уровень напряжения повышался от 5% для дефекта на одной жиле до 70% для дефектов на 6 жилах из семи. Таким образом, полученные экспериментальные данные свидетельствуют о возможности определения дефектов межблочных соединений данным методом.

Литература:

А. М. Медведев, Ф. В. Васильев, М. Л. Сокольский. Расчет токовой нагрузки для диагностического контроля электрических соединений в авионике. // Практическая силовая электроника, №2, 2013г.

## **СЕКЦИЯ № 21. Технологии обработки материалов высококонцентрированными потоками энергий**

Руководитель секции: д.ф.-м.н., профессор Борисов А.М.

---

### **Анализ формы разрядных импульсов электроэрозионного станка**

Адамовский В.В., Исхаков Р.И.

Научный руководитель – Парфенов Е.В.

УГАТУ, г. Уфа

К производству современных газотурбинных двигателей (ГТД) предъявляются крайне жесткие требования, так, турбинные лопатки, работающие при высоких температурах, имеют сложную форму, изготавливаются из сплавов, обладающих высокой твердостью, большой вязкостью, плохой обрабатываемостью традиционными методами механической обработки. Для создания охлаждающего эффекта, лопатки должны быть перфорированы отверстиями малого диаметра от 0,4 до 1 мм, через которые продувается воздух, охлаждающий рабочую поверхность лопатки. В одной лопатке может насчитываться до 200-300 охлаждающих отверстий. В настоящее время для решения задач перфорации отверстий в лопатках ГТД наибольшее распространение получил метод электроэрозионной обработки (ЭЭО), как наиболее целесообразный, а в некоторых случаях единственно возможный. В настоящее время на моторостроительных предприятиях более 50% электроэрозионных станков занято на операциях перфорации отверстий малого диаметра.

Целью данного исследования является разработка подсистемы сбора данных для анализа формы напряжения и тока разрядных импульсов в процессе прошивания отверстия на электроэрозионном станке. Данная подсистема является встраиваемой в электроэрозионный копировально-прошивочный станок для обеспечения повышения производительности обработки отверстий малого диаметра.

В ходе исследования эксперименты проводились на копировально-прошивочном электроэрозионном станке, производства ОАО ИНТЦ «Искра» (г. Уфа). В качестве обрабатываемой детали была выбрана лопатка турбины низкого давления, изготовленная из титанового сплава ВТ6. В качестве электрода-инструмента использовался медный электрод диаметром  $d=0.5$  мм. При помощи цифрового осциллографа DS1104Z-S фирмы RIGOL были записаны осциллограммы токов и напряжений в процессе ЭЭО на различных режимах работы генератора импульсов и регулятора подачи. Полученные данные в автоматизированном режиме передавались на ЭВМ в программную среду LabVIEW для цифровой обработки и анализа. Проводилась классификация разрядных импульсов по типу их прохождения через межэлектродный промежуток (МЭП): импульсы холостого хода, рабочие импульсы, импульсы короткого замыкания и “фиктивные” импульсы, не производящие полезный сьем материала. Разработанное программное обеспечение позволяет вычислять время задержки пробоя для каждого рабочего

импульса – равное разнице во времени между поступлением импульса напряжения в МЭП и моментом пробоя МЭП. Кроме того, система ведет подсчет импульсов каждого типа и вычисляет коэффициент использования импульсов генератора. По результатам работы подсистемы анализа импульсов, прошедших через МЭП, выдается управляющее воздействие на систему управления генератором импульсов и регулятором подачи для изменения текущих параметров процесса ЭЭО с целью поддержания заданного значения коэффициента использования импульсов.

Таким образом, разработанная подсистема анализа позволяет повысить эффективность процесса электроэрозионной обработки и может быть использована в качестве элемента системы управления копировально-прошивочным электроэрозионным станком.

## **Высокодозовые ионно-лучевые процессы модифицирования поверхности углеродных и композиционных материалов**

Андрианова Н.Н.

МАИ, г. Москва

Углеродные и композиционные материалы, в том числе углерод-углеродные (УУКМ), широко используют в аэрокосмической и ракетной технике, в реакторостроении [1]. Критериями работоспособности этих материалов обычно считают начало разрушения или изменения геометрических параметров соответствующих изделий. Это обуславливает большое внимание, которое уделялось и уделяется в настоящее время экспериментальному и теоретическому изучению процессов модифицирования их поверхности при высокодозном ионно-лучевом воздействии, а именно, накоплению радиационных дефектов, изменению структуры и развитию рельефа, см., напр., [2]. Насколько велики данные процессы зависит от конкретных параметров высокодозового воздействия (сорта, угла падения и энергии ионов, флюенса облучения, начальной структуры и температуры мишени при облучении).

Ионное облучение в работах [2-5] проводили на установке «Масс-монохроматор» НИИЯФ МГУ при нормальном и наклонном падении пучка ионов с энергиями 10 - 30 кэВ. Мишенями служили графиты марок МПГ-8 и РОСО-АХФ-5Q, а также углерод-углеродный однонаправленный композиционный материал КУП-ВМ. Флюенс облучения достигал  $10^{18}$  ион/см<sup>2</sup>. Для мониторинга структурно-морфологических изменений в поверхностном слое мишени и определения температуры  $T_a$  динамического отжига радиационных нарушений, позволяющей говорить о критической дозе аморфизации [3], проводили измерения температурных и энергетических зависимостей ионно-электронной эмиссии.

Известно, что деструкция физико-механических свойств и разрушение материалов при ионно-лучевом воздействии проявляет пороговый характер по уровню радиационных нарушений, определяемому в числе смещений на атом (СНА) [1-5]. Оценки критического уровня радиационных повреждений  $v_a$ , ответственного за аморфизацию, при исследовании разупорядочения эталонного в радиационном материаловедении графита РОСО-АХФ-5Q при высокодозном облучении ионами аргона показали, что значение

$v_a \approx 60$  СНА [4], это оказалось близким к соответствующему значению для графита марки МПГ-8 [3], а также сопоставимо с критическими уровнями радиационных повреждений, приводящими к деструкции РОСО-AXF-5Q при нейтронном воздействии [4]. Что касается углерод-углеродного композиционного материала КУП-ВМ, то в [5] было показано, что значение порогового уровня аморфизации оболочки углеродного ПАН-волокна в составе композита  $v_a$  близко к данным для поликристаллических графитов. Кроме того, при высокодозовом воздействии на ПАН-волокна может наблюдаться гофрирование их поверхности, также проявляющее пороговый характер. В [2,5] с помощью расчетов и экспериментальных данных были установлены и оценены пороговые уровни радиационных нарушений, приводящих к гофрированию углеродных ПАН-волокон при температурах, больших температуры отжига радиационных нарушений.

1. Virgil'ev, Yu. S.; Kalyagina, I. P. // *Inorganic Materials*. 2004, 40 (Suppl. 1), S33-S49.

2. N.N. Andrianova, A.M. Borisov, E.S. Mashkova, et. al.Ch. 5. Ion-Induced Modification and Crimping of Carbon Composite Fibers // *Horizons in World Physics*. V. 280. P. 171-190, Nova Science Publishers, Inc, NY, USA, 2013.

3. AndrianovaN.N., AvilkinaV.S., BorisovA.M., et. al. // *Vacuum* 2012. V.86. P. 1630.

4. Андрианова Н.Н., Борисов А.М., Виргильев Ю.С., Машкова Е.С.// *Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Технич. физика и автоматизация*. 2013. Вып. 67. Ч.1. С. 120-125.

5. Андрианова Н.Н., Борисов А.М., Виргильев Ю.С. и др.//*Поверхность*. 2014. №6. С.6-11.

### **Проводящие свойства поликристаллического алмаза при высокодозовом ионном облучении**

Аникин В.А., Морковкин А.И.

Научный руководитель – Борисов А.М.

МАИ, г. Москва

Ионное облучение алмаза и алмазоподобных (DLC) пленок является методом создания наноструктур с особенными свойствами[1]. Для DLC пленок электропроводность после облучения увеличивается на несколько порядков. Ионные пучки могут также использоваться для формирования заглубленных аморфных слоев. При этом значительный интерес для создания приборов со структурами алмаз-графит представляет графитизация аморфных слоев [2]. Проводящие свойства поверхности алмазов и алмазоподобных материалов послеоблучения ионными пучками связывают не только с модификацией структуры и преобразованием  $sp^3$ - углеродов  $sp^2$ - состояние, но и химической активностью используемых в пучках ионов (Si, Ge, Ga, Au и Bi) [1]. В связи с этим актуальным является исследование структуры и электрических свойств алмазных материалов после облучения ионными пучками инертных газов. В данной работе поликристаллические алмазные пластины, полученные плазмохимическим методом [3], облучали ионами аргона энергии 30 кэВ на установке «Масс-монохроматор» НИИЯФ МГУ. Флюенсы облучения составляли

$\sim 10^{18}$  ион/см<sup>2</sup> при нормальном падении ионов, температуру мишеней варьировали от комнатной до 400°С. Электропроводность образцов измеряли четырёхзондовым методом на приборе ИУС-3. Измерения показали, что используемые алмазные образцы являются хорошими изоляторами. Ионное облучение приводит к появлению значительной электропроводности поверхностного слоя облученной части поверхности. Толщина проводящего слоя определяется пробегом ионов и для высокодозового облучения алмаза ионами аргона энергии 30 кэВ составляет 40 - 50нм[4]. Зондовые измерения электросопротивления при расстоянии между зондами 1.3 мм много большим толщины проводящего слоя позволяют определить слоевое сопротивление  $R_{\square}$  и по известной толщине слоя рассчитать удельное электрическое сопротивление [5]. Измерения показали, что сопротивление  $R_{\square}$  уменьшается более чем в сто раз при изменении температуры облучаемого алмаза от 50 до 400°С и соответствует характерному удельному сопротивлению углеродистых материалов. Значения удельного сопротивления для облученного поликристаллического алмаза оказались близкими к измеренным для случая облучения DLC пленок ионами германия при температурах мишени 20 и 300°С [1]. Получена и обсуждается детальная зависимость слоевого и удельного сопротивления ионно-индуцированного слоя на поликристаллическом алмазе от температуры облучения. Найдено, что эффект стократного уменьшения электрического сопротивления с увеличением температуры облучения приходится на узкий, не более 20° интервал при температуре около 75 °С.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. PhilippF. etal. // Carbon.2014. V.80. P.877.
2. Popov V.P., SafronovL.N., NaumovaO.V., NikolaevD.V., KupriyanovI.N., PalyanovYu.N. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 2012. V.282. P.100.
3. Ральченко В.Г, Конов В.И.// Электроника: Наука, технологии, бизнес. 2007. №4. С. 58.
4. Андрианова Н.Н., Борисов А.М., Казаков В.А., Машкова Е.С., Пальянов Ю.Н., Питиримова Е.А., Попов В.П., Ризаханов Р.Н., Сигалаев С.К. // Известия РАН. Серия физическая. 2016. Т.80. №2. С. 175.
5. ПоклонскийН. А., БелявскийС. С., ВыркоС. А., ЛапчукТ. М. Четырехзондовый метод измерения электрического сопротивления полупроводниковых материалов /Под редакцией Н. А. Поклонского. Минск: Белгосуниверситет, 1998. 46 с.

### **Исследование ионно-лучевой модификации углеродных волокон с помощью комбинационного рассеяния лазерного излучения**

Аникин К.А., Казаков В.А.

Научный руководитель – Борисов А.М.

МАИ, г. Москва

Исследование стойкости углерод-углеродных композиционных материалов к радиационному воздействию обусловлено их использованием в качестве материалов элементов конструкций ядерных реакторов, термоядерных устройств и аэрокосмических аппаратов [1]. Основным элементом многих

композитов являются углеродные полиакрилонитрильные (ПАН) волокна, которые содержат несовершенное ядро с турбостратной структурой и высокосовершенную текстурированную оболочку, образованную слоями графита, ориентированными базисными плоскостями по поверхности волокна. Накопленные данные говорят о значительной радиационно-индуцированной модификации их структуры и морфологии. Так, нейтронное облучение углеродных волокон приводит к их значительным размерным изменениям [1]. При ионном облучении композиционного материала КУП-ВМ с армирующими углеродными ПАН-волокнами происходит потеря анизотропии структуры поверхностного слоя: аморфизация при комнатной температуре и рекристаллизация при температуре, большей температуры  $T_a$  динамического отжига радиационных нарушений. Облучение при  $T > T_a$  может приводить к гофрированию поверхности волокон [2,3].

Комбинационное рассеяние света (КРС) или рамановскую спектроскопию часто используют для исследования микроструктуры углеродных материалов [4,5]. В настоящей работе рамановская спектроскопия проведена для углеродного ПАН-волокна до и после высокодозового ионного облучения. Облучение проводили на установке «Масс-монохроматор» НИИЯФ МГУ ионами  $Ar^+$  с энергиями 10 - 30 кэВ и флюенсами  $\geq 10^{18}$  ион/см<sup>2</sup>, углах падения 0 и 70° и температуре мишеней в интервале от комнатной до 400°С. Спектры КРС получали на микрорамановском спектрометре HoribaT6400 при возбуждении лазерным излучением с длиной волны 514.5 нм. Для предотвращения нагрева образцов мощность излучения составляла 1 мВт при диаметре пятна ~25 мкм.

Найдено, что ионное облучение приводит к значительным изменениям в спектрах КРС, причем наиболее значительным при аморфизации высокосовершенной графитовой оболочки углеродного волокна. Имеющее порог по энергии ионов ионно-индуцированное гофрирование слабо отражается в спектрах КРС. Полученные результаты сравниваются с аналогичными данными для других углеродных материалов, обсуждаются в рамках закономерностей радиационной деструкции углеродных материалов [2,3,5].

#### ЛИТЕРАТУРА:

Virgil'ev Yu.S., Kalyagina I.P. Carbon-Carbon Composite Materials. // Inorganic Materials. 2004. V. 40 Suppl. 1. S33.

Andrianova N.N., et al. // Horizons in World Physics. Volume 280, pp. 171-190, Nova Science Publishers, Inc., NY, USA, 2013.

Андрианова Н.Н. и др. // Поверхность. 2014. №6. С. 6-11.

Robertson J. // Materials Science and Engineering. 2002. R 37. P 129.

Niwase K. // International Journal of Spectroscopy. 2012. V.2012. P.197609.

### **Азотирование и оксидирование технического титана методом анодного нагрева**

Белкин В.С.

Научный руководитель – Крит Б.Л.

МАИ, г. Москва

В настоящее время имеется значительный интерес к методам химико-термической обработки титановых сплавов, так как обработка может увеличить

их износостойкость и коррозионную стойкость, снизить коэффициент трения и упрочнить поверхность материала, получать наноразмерные структуры и покрытия с положительным фотовольтаическим эффектом. Эти методы включают и электролитно-плазменное насыщения (ЭПН) легкими элементами. Одним из преимуществ ЭПН, включая цементацию, азотирование или нитроцементацию, является высокая скорость обработки и низкая стоимость. Методы ЭПН принято делить на катодные и анодные. Недостатком катодных процессов является повышение шероховатости поверхности из-за действия электрических разрядов. Наоборот, анодная обработка способствует снижению шероховатости поверхности благодаря анодному растворению. Однако, возможности и закономерности анодной ЭПН титана исследованы в гораздо меньшей степени чем катодные. Целью данной работы является изучение анодных процессов ЭПН титановых сплавов и их свойств после насыщения легкими элементами.

Водный раствор хлорида аммония с концентрацией 10% позволяет проводить анодную электролитно-плазменную обработку титановых образцов при температуре 1050 °С и расходе энергии 330 Вт/см<sup>2</sup>. Стационарная температура нагрева от 600 до 1050 °С регулируется напряжением в интервале от 120 до 260 В. Влияние напряжения на температуру нагрева и силу тока качественно соответствует обработке сталей в электролитах на основе хлорида аммония.

Анодное электролитно-плазменное оксидирование титана в растворах хлорида аммония сопровождается его растворением с параллельным образованием поверхностного оксидного слоя. При кратковременной обработке (1–2 мин) масса образца увеличивается за счет образования оксидного слоя при достаточно высоких температурах, при низких температурах превалирует анодное растворение, и масса образца снижается. Длительная обработка всегда приводит к уменьшению массы за счет анодного растворения и отслаивания оксидного слоя.

Максимальная толщина азотированного слоя достигается при температуре насыщения 850 °С в растворе, содержащем 10% хлорида аммония и 5% аммиака, и составляет 95 мкм за 10 мин обработки. Максимальная микротвердость поверхностного слоя достигается на глубине 50 мкм и составляет 220 HV.

Анодное электролитно-плазменное азотирование технического титана позволяет снизить его коэффициент трения со смазкой от 0.7 до 0.15 с контртелом из закаленной до 58–60 HRC среднеуглеродистой стали (207 N<sub>normalload</sub>, 290 min<sup>-1</sup> angularspeed). В этом случае массовый износ уменьшается от 57 мг до 0.52 мг..

Установлено, что анодное азотирование низколегированных титановых сплавов снижает их скорость коррозии на два порядка в водном растворе серной (4.5 %) и соляной (0.2 %) кислот. Анодное азотирование технического титана приводит к уменьшению скоростей коррозии в 8 раз при циклических испытаниях в растворе соляной кислоты (6 %) с добавками белка и протеина.

## **Влияние состава электролита для микродугового оксидирования сплава МА2-1 на характеристики формируемых покрытий**

Блохина А.В.

Научные руководители – Крит Б.Л., Староверов Ю.С.

НТИМИ; МАИ, г. Москва

Сплавы на основе магния характеризуются рядом уникальных свойств и, на сегодняшний день, их применение весьма актуально во многих отраслях промышленности, в том числе и в биомедицине при производстве биосенсорных систем. Однако, главным недостатком магния и магниевых сплавов является низкая коррозионная стойкость. Также, помимо невысокой коррозионной стойкости в жидкостях, а особенно в жидкостях человеческого организма, для биомедицинских сплавов проблемой является неуправляемость коррозионного процесса. Данную задачу можно решить разработкой изделий с контролируемой скоростью коррозии. Одним из способов решения этой задачи является модифицирование поверхности магниевых компонентов биомедицинских сенсоров. Для модифицирования поверхности с целью эффективной защиты от коррозии лёгких вентильных сплавов применяется метод микродугового оксидирования (МДО). В настоящее время, также, активно ведутся исследования по структурированию МДО-покрытий путём введения наночастиц оксидов в состав электролита.

Целью работы являлось исследование влияния введения добавок нанопорошка диоксида циркония  $ZrO_2$  в электролит для микродугового оксидирования (МДО) магниевое сплава МА2-1 на толщину, сквозную пористость, коррозионно-защитную способность, морфологию формируемого МДО-покрытия и скорость коррозии. Исследование проводилось с использованием оборудования кафедры ТППИСУЛА в МАИ.

МДО-обработка проводилась в течение 30 мин на установке МДО-100 в электролите, содержащем 4 г/л гидроксида калия, 6 мл/л жидкого стекла натриевого, 4 г/л фтористого калия, 10 г/л этиленгликоля и добавки порошка  $ZrO_2$  со средним размером наночастиц 50 нм (0; 2; и 5 г/л) в анодно-катодном режиме при суммарной плотности анодного и катодного токов  $16 \text{ А/дм}^2$  в начале процесса. Электролиты были приготовлены в ультразвуковой ванне с целью предотвращения коагуляции наночастиц  $ZrO_2$ .

МДО-покрытия, сформированные на сплаве МА2-1 в электролитах с добавками наночастиц диоксида циркония, не отличались от тех, которые были получены в электролите без добавок  $ZrO_2$ . Однако анализ полученных данных показал, что при введении добавок толщина МДО-покрытий растёт и более чем на порядок снижается плотность тока коррозии, хотя сквозная пористость при этом увеличивается. После оксидирования поверхность сплава МА2-1 представляет собой диэлектрический слой с порами, через которые затруднены подвод деполяризатора и отвод продуктов коррозии. МДО-покрытие обладает высокой защитной способностью – плотность тока коррозии по сравнению с образцом без покрытия снижается более чем на два порядка.

Электронно-микроскопические исследования показали, что наночастицы диоксида циркония, в основном, встраиваются в объём МДО-покрытия, хотя некоторое их количество кристаллизуются в поверхностном слое.

Таким образом, характеристики покрытий, формируемых на магниевом сплаве МА2-1, существенно изменяются при введении добавок нанопорошка  $ZrO_2$  в электролит для микродугового оксидирования: толщина оксидного слоя растёт и более чем на порядок снижается плотность тока коррозии, несмотря на то, что сквозная пористость при этом увеличивается.

## **Повышение производительности электроэрозионного проволочно-вырезного станка за счет новой конструкции сопла нижней камеры**

Болсуновская Т.А.

Научный руководитель – Филиппов В.В.

МГМУ (МАМИ), г. Москва

Электроэрозионная обработка применяется для изменения размеров и формы металлических изделий: для получения отверстий, фасонных полостей, вырезки по контуру.

Принцип электроэрозионной обработки основан на разрушении материала под влиянием внешнего воздействия электрических разрядов.

Современные проволочно-вырезные станки представляют собой сложные технологические системы, состоящие из рабочего пространства с узлами подачи натяжения проволоки, источника технологического тока, системы ЧПУ и других функциональных систем и механизмов.

Одним из основных узлов станка является верхняя и нижняя камеры для натяжения проволоки. Хорошее стабильное натяжение и равномерное движение проволоки обеспечивает высокую скорость резания, точность и чистоту поверхности. Рывки и непрямолинейность проволоки являются основной причиной неточности изготовления детали.

Существует много способов повышения производительности процесса вырезки проволокой. Например, увеличение диаметра проволоки повысит скорость резания, но приведет к ускорению засора фильтров системы очистки рабочей жидкости, что является нежелательным фактором.

Одним из методов улучшения параметров резания является замена сопел верхней и нижней камеры на сопла новой конструкции с возможностью регулирования рабочего зазора между обрабатываемым изделием и проволокой-электродом, что позволит повысить производительность выполняемых операций.

При стандартных соплах, установленных в нижней камере в ее верхней части по резьбе вручную перемещается гайка, которая увлекает за собой капролоновую втулку, центрирующуюся на сопле. При вращении этой гайки втулка сжимается, и сопло жестко находится внутри этой конструкции. В результате этого нет возможности регулирования положения сопла и струя рабочей жидкости, на выходе из камеры, течет большим потоком.

Сопла новой конструкции с регулируемой капролоновой втулкой позволяют изменять зазор между втулкой и соплом.

Проведенные исследования на опытных образцах из стали ХВГ показали, что производительность процесса электроэрозионной вырезки проволокой диаметром 0,25 мм с использованием сопел новой конструкции повышается на 20-30 процентов при сохранении точности и качества поверхностей реза.

Кроме того, улучшаются условия удаления шлаков из рабочей зоны, что повышает стабильность процесса электроэрозионной вырезки проволокой.

Модернизация сопел камер прокатки рабочей жидкости является технологически простым и экономически целесообразным способом повышения производительности электроэрозионной вырезки проволокой заготовок из различных материалов.

### **Анодная электролитно-плазменная обработка сплава 12Х18Н10Т в водном растворе с добавлением карбамида**

Буров С.В.

Научный руководитель – Дьяков И.Г.

КГУ им. Н.А. Некрасова, г. Кастррома

Сталь 12Х18Н10Т получила своё распространение в различных отраслях промышленности, где к сплавам предъявляются строгие требования по коррозионным свойствам. Однако механические свойства данной стали весьма низкие, что ограничивает круг её применения. Цель данной работы заключается в применении анодной электролитно-плазменной нитроцементации для улучшения механических свойств поверхностного слоя с сохранением антикоррозионных свойств.

В качестве рабочего электролита был взят водный раствор состава: 10% (масс.) хлорид аммония и 10 % (масс.) карбамид. Обработка проходила при температурах от 750 °С до 950 °С с последующей закалкой или охлаждением на воздухе. Исследование распределения микротвёрдости по Виккерсу было проведено на микрометре ПМТ-3М, нормальная нагрузка составляла 50 г. Трибологические свойства изучались на машине трения УМТ-01 по схеме «палец по диску», контртело – диск из стали 45, закаленный до твердости 50 HRC. В качестве смазки использовалось средство «ЛИТОЛ». Величина нормальной нагрузки составляла 148 Н. Линейная скорость скольжения – 0,49 м/с. Каждый образец проходил путь 500 м. Электрохимические исследования проводились в 3%-м растворе хлорида натрия, растворе состава 7 г/л хлорид натрия и 7 г/л сульфат натрия и растворе Рингера.

В результате исследований было выяснено, что микротвердость края закаленных образцов растет от 2,4 до 3,7 ГПа при увеличении температуры обработки от 750 до 850 °С, но при дальнейшем нагреве микротвёрдость снижается до 2,9 ГПа. При охлаждении образцов на воздухе наблюдается схожая картина: при увеличении температуры нагрева до 850 °С значение микротвердости на краю диффузионного слоя составляет 2,9 ГПа, а дальнейший рост температуры снижает микротвердость до величины 2,2 ГПа.

Коэффициент трения необработанных образцов составляет 0,3, а массовый износ достигает 100 мг на 500 м пути. После закалки массовый износ уменьшается до 5–6 мг, а коэффициент трения снижается до диапазона 0,1 – 0,15. При охлаждении на воздухе можно увидеть примерно такие же результаты: массовый износ у образцов, охлаждённых на воздухе, составляет от 1 мг при температуре 800 °С до 3,5 мг при температуре 950 °С.

На дифрактограммах обработанных образцов большинство линий относятся к оксидам смешанного состава  $Fe_3O_4$  (магнетит), а также оксидам  $Fe_2O_3$  (гематит)

присутствуют пики, которые могут принадлежать как оксиду железа FeO, так и нитриду FeN. Увеличение температуры нагрева способствует росту интенсивности пиков оксидов.

При изучении распределения азота и углерода у обработанных образцов видно, что наблюдается ускорение процесса диффузии азота при понижении температур нагрева до 750 °С. Зависимости распределения углерода от температуры насыщения не выявлено, однако можно сказать, что при обработке в данных условиях процесс азотирования доминирует над процессом цементации.

Плотность тока коррозии определялась на основе уравнения Аллена-Хиклинга. Плотность тока коррозии у необработанных образцов во всех электролитах составляет от 6,9 до 8,82 мкА/см<sup>2</sup>. Охлаждение на воздухе значительно снижает коррозионную стойкость поверхности образцов, плотность тока коррозии увеличивается более чем в 10 раз, а после закалки плотность тока коррозии снижается в 2-3 раза.

### **Особенности воздействия ультразвука в процессе взрывного нагружения на изменение структуры и свойств получаемых композиционных соединений**

Дородников А.Н., Кузьмин Е.В., Тунгулуков Ф.А.

Научный руководитель – Пеев А.П.

ВолгГТУ, г. Волгоград

В настоящее время в промышленном производстве и обработке материалов эффективным и перспективным направлением является разработка и внедрение качественно новых технологий, в том числе основанных на комбинированном воздействии нескольких видов энергии или совмещении различных способов ее подвода.

Несмотря на принципиальные отличия друг от друга источников энергии, используемых при соединении металлов сваркой взрывом и с помощью ультразвуковой обработки, сходными для них являются физические процессы, протекающие в поверхностных слоях материалов – образование и перемещение к свободной поверхности дислокаций и вакансий, играющие ключевую роль при схватывании металлов. В связи с этим вызывает особый интерес результат совместного воздействия ударных (в частности, при сварке взрывом) и ультразвуковых волн на металл.

Проведение исследований производилось на стальных, медных и алюминиевых парах образцов при варьировании амплитуды и частоты ультразвуковой волны. Выбор данных материалов обусловлен, прежде всего, их различающимися физико-механическими свойствами, доступностью и широкой применимостью в машиностроении и электротехнике. Сварку взрывом с одновременным воздействием ультразвука проводили по ранее разработанной оригинальной методике с встречно-направленным распространением ультразвуковых колебаний относительно скорости точки контакта (направления сварки). Для сравнения полученных результатов одновременно производили сварку образцов на идентичных режимах без воздействия ультразвука.

Установлено, что воздействие ультразвуковых колебаний на соединяемые металлы в процессе сварки взрывом оказывает существенное влияние на структуру и свойства полученных соединений. Во всех образцах наблюдается существенное уменьшение параметров волн (в 2,0...2,5 раза) и количества оплавленного металла на границе соединения, увеличение прочности соединения и повышение микротвердости металла околошовной зоны по сравнению с контрольными образцами, сваренными взрывом без применения ультразвука.

Стоит отметить, что кинетическая энергия метаемой пластины в случае с одновременным ультразвуковым воздействием и без, была одинаковая, однако ярко выраженное изменение кинетики формирования сварных соединений указывает на то, что её диссипация после соударения происходит по разным механизмам. Кроме этого, на вышеуказанные процессы, возможно, оказывает изменение размера кристаллитов в результате предварительной ультразвуковой обработки.

Для изучения влияния воздействия ультразвука на тонкую структуру и свойства меди в исходном состоянии и после сварки взрывом был проведен рентгеноструктурный анализ. Экспериментально доказано, что, несмотря на изменение тонкой структуры металла после предварительной ультразвуковой обработки образцов и последующей их сварки взрывом, изменение структуры и свойств околошовной зоны не происходит, а ключевую роль на формирование сварного соединения оказывает именно одновременное воздействие ультразвуковых колебаний и ударных волн при сварке взрывом.

Таким образом, полученные результаты в области обработки металлов взрывом с одновременным воздействием ультразвука являются принципиально новыми, а механизм взаимодействия ударных волн с ультразвуковыми колебаниями в соударяющихся пластинах недостаточно ясен, что требует проведения детального исследования данного процесса.

### **Моды регулярности в спектрах комбинационного рассеяния полиэтилена и сополимеров этилен/гексен-1**

Завгороднев Ю.В.<sup>1</sup>

Научный руководитель – Сагитова Е.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>МАИ, <sup>2</sup>ИОФ РАН, г. Москва

В настоящее время активно развиваются способы производства новых функциональных материалов (сополимеров и нанокомпозитов) на основе полиэтилена. Такие функциональные материалы по сравнению с полиэтиленом обладают комплексом новых свойств.

Полимеры – частично-кристаллические или аморфные материалы. Тем не менее, традиционными методами исследования их структуры являются чувствительные только к кристаллической фазе рентгеноструктурный анализ (РСА) и дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК). Развитие методов, позволяющих диагностировать все фазы, и, в частности, развитие методов спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) света, будет способствовать более глубокому пониманию структуры полимерных

материалов, что, в свою очередь, позволит создавать материалы, обладающих заранее заданными свойствами.

В этой работе методами спектроскопии КР исследован полиэтилен низкой, средней и высокой плотности в области температур от 25 до 140°C и статистические сополимеры этилен/гексен-1 с различным содержанием гексена-1.

На основании сравнения со спектрами КР *n*-алканов уточнено отнесение полос регулярности в спектрах полиэтилена и сополимеров этилен/гексен-1 к колебаниям последовательностей *транс*-конформеров (упорядоченным участкам в CH<sub>2</sub>-цепях) определенной длины. Показано, что полосы регулярности с частотами 1062 и 2850 см<sup>-1</sup> соответствуют критической длине последовательности *транс*-конформеров из 6-8 CH<sub>2</sub>-групп, а полосы с частотами 1130, 1170, 1295 и 2883 см<sup>-1</sup> соответствуют критической длине последовательности *транс*-конформеров 18 CH<sub>2</sub>-групп.

Проведен сравнительный анализ эволюции мод регулярности, отвечающих колебаниям *транс*-конформерам при увеличении температуры и содержания гексена-1. В обоих случаях в CH<sub>2</sub>-цепях возрастает количество неупорядоченных последовательностей (*гаиш*-конформеров).

Обнаружено, что эволюция интенсивностей полос регулярности с частотами 1062, 1130, 1170, 1295 и 1417 см<sup>-1</sup> в спектре КР разветвленного ПЭ низкой плотности при увеличении температуры совпадает с эволюцией полос регулярности в спектрах КР сополимеров этилен/гексен-1 при увеличении содержания гексена-1, но значительно отличается от поведения этих полос в спектрах полиэтилена средней и высокой плотности при увеличении температуры. Этот факт объяснен схожим строением аморфных областей разветвленного полиэтилена и сополимеров этилен/гексен-1, а именно наличием большого числа коротких последовательностей *транс*-конформеров. Однако эволюция отношения интенсивностей линий КР с частотами 2883 и 2850 см<sup>-1</sup> с увеличением содержания гексена-1 в сополимерах сильно отличается от поведения этого отношения в спектрах КР полиэтилена с низкой, средней и высокой плотностью при возрастании температуры.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-02-00832) и частично финансируется Граном Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ (НШ-451. 2014.2).

## **Ионно-лучевое модифицирование поверхности синтетического алмаза**

Казаков В.А.

Научный руководитель – Борисов А.М.

МАИ, ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», г. Москва

Модификация алмазных материалов ионным облучением представляет интерес во многих областях науки и техники, в том числе для создания приборов со структурами алмаз-графит [1,2]. В настоящей работе экспериментально исследовано модифицирование грани (111) синтетического алмаза типа Ib высокодозовым ( $\geq 10^{18}$  ион/см<sup>2</sup>) облучением ионами Ag<sup>+</sup> энергии 30 кэВ. Найдено, что ионное облучение приводит к образованию

электропроводящего слоя, удельное сопротивление которого уменьшается более чем в сто раз при изменении температуры облучаемого алмаза от 70 до 400°C (от  $10^{-1}$  Ом·см до  $10^{-3}$  Ом·см) и соответствует характерному удельному сопротивлению углеграфитовых материалов.

Спектры комбинационного рассеяния света КРС регистрировали на спектрометре Horiba T6400 при возбуждении лазерным излучением с длиной волны  $\lambda_{\text{л}} = 488$  нм. Для предотвращения нагрева образцов мощность излучения уменьшали до 1 мВт при диаметре пятна  $\sim 5$  мкм. Проводящий слой, образующийся при ионном облучении, проявляется в спектрах КРС в виде широкой полосы в области смещений  $1000 - 1700 \text{ см}^{-1}$  с пологим максимумом, положение которого составляет приблизительно  $1500$  и  $1600 \text{ см}^{-1}$  после облучения соответственно при температурах  $T = 70$  и  $400^\circ\text{C}$ . При облучении полуширина пика алмаза на  $1332 \text{ см}^{-1}$  практически не меняется, однако, наблюдается значительное уменьшение его интенсивности, что связано с поглощением в модифицированном слое.

Спектральные зависимости коэффициента пропускания исследовали в видимой области спектра ( $350-700$  нм) до облучения алмаза и после его облучения при температурах  $70$  и  $400^\circ\text{C}$ . Спектр пропускания используемого в эксперименте синтетического алмаза характеризуется поглощением в УФ области спектра с порогом пропускания  $\lambda \approx 450$  нм, характерным для алмазов типа 1b [3]. Облученный при температуре  $400^\circ\text{C}$  слой уменьшает прозрачность алмаза более чем в два раза при отсутствии явной спектральной зависимости в измеренной области спектра пропускания алмаза. В отличие от облучения при  $400^\circ\text{C}$  ионное облучение алмаза при  $70^\circ\text{C}$  приводит к сильной спектральной зависимости пропускания света: для длин волн  $\lambda > 650$  нм ионно-индуцированный слой практически не изменяет прозрачность алмаза, а при  $\lambda < 650$  нм модифицированный слой вносит дополнительное поглощение, монотонно возрастающее с уменьшением длины волны.

Методом атомно-силовой микроскопии исследовали морфологию модифицированной при разных температурах поверхности алмаза. Сравнение облученного слоя с исходной полированной поверхностью алмаза показывает незначительное развитие морфологии: происходит распыление следов механической полировки при сохранении исходной шероховатости.

#### ЛИТЕРАТУРА:

- Popov V.P. et al. // Nucl.Instrum.Methods in Phys.Res. B. 2012. V.282. P.100.  
Philipp F. et al. // Carbon. 2014. V.80. P.877.  
Mineral Absorption Spectra in the visible and infrared regions of the spectrum and Raman spectra of minerals:  
<http://minerals.gps.caltech.edu/files/visible/diamond/index.html>

## Влияние состава электролита на трибологические свойства титанового сплава ВТ-10 после скоростной электролитно-плазменной цементации

Комиссарова М.Р.

Научный руководитель – Дьяков И.Г.

КГУ им. Н.А. Некрасова, г. Кострома

Титан и его сплавы нашли широкое применение в технике, медицине, аэрокосмической промышленности ввиду своей высокой механической прочности, которая сохраняется при высоких температурах, коррозионной стойкости, жаропрочности, удельной прочности, малой плотности и прочих полезных свойств. Целью данной работы является определение влияния на фазовый состав и свойства поверхностного слоя титанового сплава ВТ-10 углеродсодержащей добавки в водный электролит при обработке методом электролитно-плазменного нагрева.

Образцы титанового сплава марки ВТ10 диаметром 8 мм и высотой 10 мм подвергались цементации в течение 5 мин в четырех электролитах: 1) 10 % (масс.) хлорида аммония и 10 % (масс.) сахарозы; 2) 10 % (масс.) хлорида аммония и 10 % (масс.) ацетона; 3) 10 % (масс.) хлорида аммония и 10 % (масс.) глицерина; 4) 10 % (масс.) хлорида аммония и 10 % (масс.) этиленгликоля. Температура обработки была постоянной и составляла 850 °С. После обработки образцы охлаждались в растворе от температуры обработки. Изучение характеристик трения проводилось на установке УМТ-01 по схеме «палец по диску». В качестве смазки использовалось средство «ЛИТОЛ», а контртело – диск из стали 45 закаленный до 55 HRC. Величина нормальной нагрузки на образцы составляла 312 Н. Угловая скорость вращения образцов 450 об/мин. Путь трения для всех образцов составлял 500 м. Массовый износ образцов определялся путем взвешивания образцов до и после трения. Перед взвешиванием образцы обезжиривались в ультразвуковой ванне в растворе ацетона.

Таблица 1.

Зависимость трибологических свойств детали титана от состава электролита

Состав электролита	Коэффициент трения	Массовый износ, мг
С ацетоном	0,098	1,4
С сахарозой	0,103	0,47
С этиленгликолем	0,113	1,03
С глицерином	0,141	0,8

Коэффициент трения необработанных образцов составил 0,44, а массовый износ за все время скольжения – 230 мг. Средняя микротвердость сырого образца составила 130 HV<sub>50</sub>.

Микротвердость на краю у всех деталей после цементации приблизительно составляет 215 HV<sub>50</sub>. В зависимости от состава электролита после обработки меняются трибологические свойства образцов. Коэффициент трения варьируется от 0,098 в растворе с сахаром до 0,141 в растворе с глицерином. Массовый износ так же меняется в зависимости от среды обработки: от 0,47 мг в электролите с сахаром до 1,4 мг в электролите с ацетоном. Можно

предположить, что такое различие свойств деталей после обработки может быть связано как с насыщающей способностью веществ доноров углерода. Косвенным подтверждением может служить зависимость силы тока в системе от состава электролита. Это влияет на толщину оксидного слоя и приводит к разбросу по массовому износу.

### **Микродуговое оксидирование в алмазосодержащих электролитах–суспензиях**

Желтухин А.В., Кондрацкий И.О.

Научный руководитель – Эпельфельд А.В.

МАИ, г. Москва

Микродуговое оксидирование (МДО) в электролитах, содержащих в своем составе порошки различной степени дисперсности (от нанометров до десятков микрон) и природы (оксиды, карбиды, нитриды, бориды, графит и др.), находящиеся во взвешенном состоянии, представляет собой отдельное направление в области МДО-технологий, которое активно развивается в последнее время. Формированию МДО-покрытий в таких электролитах–суспензиях присущ особый механизм, который влияет не только на их структуру и свойства, но и на скорость их формирования [1].

В работе [2] методом ядерного обратного рассеяния был исследован элементный состав МДО-покрытий, полученных на алюминиевом сплаве В95 (5,0÷7,0 % Zn; 1,8÷2,8 % Mg; 1,4÷2,0 % Cu; 0,2÷0,6 % Mn; 0,1÷0,25 % Cr) в силикатно-щелочном электролите, содержащем 9 г/л жидкого стекла и 2 г/л едкого калия, с добавками частиц ультрадисперсного алмаза (УДА) размером 5–7 нм. Обработка проводилась в анодно-катодном режиме с равными плотностями анодного и катодного токов 5,5 А/дм<sup>2</sup>. Было показано, что в полученном покрытии имеется внедренный углерод.

Целью настоящей работы было исследование морфологии и некоторых характеристик МДО-покрытий, сформированных на сплаве В95 в том же электролите с добавками УДА 2 и 5 г/л. Растровая электронная микроскопия показала, что добавка 5 г/л УДА в силикатно-щелочной электролит сильно изменяет морфологию покрытий, а также выявила внедрение порошковых частиц в глобулярную керамическую структуру МДО-покрытий. Исследование зависимостей толщины и сквозной пористости сформированных покрытий от продолжительности МДО-обработки (30, 60 и 90 минут) и концентрации добавки УДА в силикатно-щелочной электролит показали, что добавка 5 г/л УДА кратно повышает толщину МДО-покрытий при любой продолжительности обработки, а снижение сквозной пористости достигается только при длительности МДО-обработки 120 мин. Было также установлено, что формирование МДО-покрытий в электролитах с алмазосодержащими добавками приводит к значительному росту их микротвердости.

Таким образом, путем введения в электролиты алмазосодержащих наночастиц возможно формирование МДО-покрытий с особыми характеристиками, что способно существенным образом повышать работоспособность и долговечность деталей, узлов и агрегатов не только в привычных областях машино- и приборостроения, но и в изделиях аэрокосмической техники.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Borisov A.M., Krit B.L., Lyudin V.B., Morozova N.V., Suminov I.V., Apelfeld A.V. Microarc oxidation in slurry electrolytes: a review//Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2016. V. 52. № 1. P. 50–78.

2. Эпельфельд А.В., Желтухин А.В., Савушкина С. В. Исследование покрытий на алюминиевом сплаве, полученных микродуговым оксидированием в силикатно-щелочном электролите с добавками ультрадисперсного алмаза//Новые материалы и технологии – НМТ-2010. Материалы Всероссийской научно-техн. конф. Т. 2. – М.: ИЦ МАТИ, 2010. С. 115.

## **Ультразвуковая алмазная прошивка отверстий в труднообрабатываемых материалах**

Котькина Т.В.

Научный руководитель – Моргунов Ю.А.

МГМУ (МАМИ), г. Москва

В современном машиностроении широко применяются композиционные материалы (КМ). Они многообразны по химическому составу и физико-механическим характеристикам. Принципиальными недостатками КМ являются их хрупкость и сложность обработки.

При формообразовании отверстий в деталях из композиционных материалов, применяющихся в изделиях ракетно-космической техники, часто используются металлорежущие и лазерные станки, что приводит, в первом случае к расслоению и «разлохмачиванию» обработанных поверхностей, а во втором, получается конусообразный кратер разного размера с крайне рельефной поверхностью и расслоением по внутренним границам углеродокон. Для решения этой проблемы предлагается операция ультразвуковой обработки вращающимся алмазным инструментом, которая позволяет получать отверстия и пазы в деталях из композиционных материалов без повреждений и расслоений.

Были проведены экспериментальные исследования влияния различных факторов на производительность ультразвуковой обработки таких материалов.

Работа проводилась на станке УЗС-4Мс использованием экспериментальной вращающейся ультразвуковой головки. В процессе эксперимента прошивались отверстия в различных материалах с различными параметрами режима и в результате оценивалась производительность обработки. В качестве инструмента использовались трубчатый и цельный инструмент с нанесенным алмазным покрытием разных диаметров.

Предварительные эксперименты по определению зависимости рабочей подачи цельного инструмента от величины статической нагрузки показали, что она имеет экстремальный характер с выраженным максимумом. Причем, наибольшая производительность при обработке различных материалов достигается при различной величине статической нагрузки. Снижение величины допустимой подачи при дальнейшем увеличении нагрузки связано с интенсификацией износа инструмента, затруднением выноса продуктов обработки из зоны резания, а дальнейшее увеличение нагрузки может привести к поломке инструмента.

Для наглядного сравнения производительности обработки различными инструментами был проведен эксперимент по влиянию статической нагрузки на величину минутной подачи, которая определяет производительность процесса, трубчатым и цельным инструментом.

Диаметры инструментов выбирались по площади обработки. Обработка материалов (углепластик, фаянс и поликор) осуществлялась с постоянной частотой вращения  $3700 \text{ мин}^{-1}$ , на глубину равную 4 мм, амплитудой 20 мкм. Величина нагрузки варьировалась.

Следует отметить, что при обработке углепластика достигалась наибольшая производительность процесса не зависимо от вида используемого инструмента и диаметра инструмента.

Полученные результаты позволяют установить рациональные параметры режима ультразвуковой алмазной обработки для обеспечения производительности и качества поверхности обрабатываемых материалов.

### **Влияние учёта недипольных добавок на спектры рентгеновской фотоэлектронной эмиссии**

Грязев А.С., Кузнецова А.В., Ляпунов Н.В.

Научный руководитель – Афанасьев В.П.

МЭИ, г. Москва

Последние десятилетия наблюдается быстрый прогресс в развитии методов анализа поверхности. Важное место принадлежит электронной спектроскопии [1], что связано с тем, что данные методы являются неразрушающими, позволяют реализовать измерения в режиме реального времени и in-situ.

В данной работе рассматриваются интенсивности фотоэлектронных линий в РФЭС спектрах для четырех элементов: Be, Si, Au и W. Для этих элементов построены сечения фоторождения, угловые распределения, а также произведены сравнения. Для построения дифференциального сечения фотоионизации используем таблицы [2, 3], откуда берем значения  $\sigma_i$  полного сечения фотоионизации и значения параметра  $\beta$ . При изучении фотоэлектронной эмиссии обычно рассчитывают угловые распределения фотоэлектронов в приближении электрического диполя [2, 3].

Для описания процесса переноса электрона в веществе используем три приближения: приближение «прямо-вперед» (Straight-Line Approximation), малоугловое приближение, численное решение.

Однако существует много исследований, которые показывают, что угловое распределение, посчитанное в приближении одного параметра  $\beta$ , даже для случаев низких кинетических энергий имеет сильное расхождение от распределения, построенного с учетом ещё двух недипольных параметров  $\gamma$  и  $\delta$ , приведённых в [2, 3].

Для некоторых линий можно не учитывать недипольную добавку, а для некоторых неучёт этой добавки будет приводить к большой погрешности. Например, наибольшая погрешность для углового распределения составляет 0.74% для линии Be  $1s_{1/2}$  и 0.66% для линии Si  $2p_{3/2}$ . В работе рассмотрена реализация современных подходов к интерпретации спектров РФЭС. Главным

требованием при решении обратных задач в теории переноса является быстрота решения. Следовательно, необходимо иметь подход к решению, дающий корректный результат с большей точностью за минимально возможное время. Аналитические методы решения прямой задачи отвечают выше изложенным требованиям. Данный обзор показывает возможности повышения качества анализа для спектров РФЭС, а также высокую эффективность применения методов электронной спектроскопии при анализе поверхности, дающем детальную информацию о химическом составе и структуре твердых тел.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. В.П. Афанасьев, П.С. Капля, О.Ю. Головина, А.С. Грязев. Расшифровка спектров РФЭС с последовательным учетом влияния процессов многократного упругого и неупругого рассеяния. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2015. Т.1. С. 68–73.

2. M.B. Trzhaskovskaya, V.I. Nefedov, V.G. Yarzhemsky. Photoelectron angular distribution parameters for elements  $Z = 1$  to  $Z = 54$  in the photoelectron energy range 100–5000 eV // Atomic Data and Nuclear Data Tables. 2001. V.77, P.97–159.

3. M.B. Trzhaskovskaya, V.I. Nefedov, V.G. Yarzhemsky. Photoelectron angular distribution parameters for elements  $Z = 55$  to  $Z = 100$  in the photoelectron energy range 100–5000 eV // Atomic Data and Nuclear Data Tables. 2002. V.82, P.257–311.

### **Модульная автоматизированная технологическая установка для широкого класса электролитно-плазменных процессов**

Кальянов В.Г., Лазарев Д.М., Фаткуллин А.Р.

Научный руководитель – Парфенов Е.В.

УГАТУ, г. Уфа

Электролитно-плазменная обработка (ЭПО) – группа инновационных эффективных технологий в области финишной обработки металлических поверхностей, использующих высокие напряжения (от 200 до 800 В), являющаяся современной альтернативой традиционным электрохимическим методам. Широкий диапазон напряжений и физико-химические особенности ЭПО обуславливают большие возможности электролитно-плазменных процессов (ЭПП). Так ЭПП применяют при нагреве металлов, удалении покрытий и полировке поверхностей, нанесении оксидных покрытий на металлы и сплавы. Однако в настоящее время существующие автоматизированные установки реализуют, как правило, один вид обработки из широкого класса процессов ЭПО. В настоящей работе представлены результаты проектирования модульной автоматизированной технологической установки для широкого класса ЭПП.

Автоматизированная установка объединяет в себе две стойки 19”. Электрическое питание стоек осуществляется от трехфазной сети ~220/380 В 50 Гц. В состав первой стойки входит ванна-электролизер с контуром охлаждения и нагрева электролита, устройство загрузки детали, устройство барботажа для перемешивания электролита и система регулирования температуры электролита. Устройство загрузки детали представляет собой реечный привод, работающий от электродвигателя постоянного тока, система управления которым реализована на базе аппаратной платформы Arduino. Система регулирования

температуры выполнена на базе двухканального регулятора ТРМ-202, к которому подключены два терморезистивных датчика температуры, исполнительные механизмы систем нагрева и охлаждения электролита, а также управляющий компьютер. В качестве исполнительных механизмов системы нагрева используются два ТЭНа, вмонтированные в ванну и соединенные параллельно. В качестве исполнительного механизма системы охлаждения используется электрический водяной насос, подключенный к контуру охлаждения. Контур охлаждения содержит емкость для охлажденной воды и холодильный агрегат. В состав второй стойки входит технологический источник питания для ЭПП мощностью 45 кВт и управляющий компьютер. Технологический источник питания для ЭПП собран из пяти блоков постоянного напряжения, соединенных последовательно. Каждый источник питания состоит из трех однофазных модулей мощностью 3 кВт с номинальным напряжением 50 В, схема включения которых обеспечивает равномерную нагрузку на каждую фазу входной трехфазной питающей сети. Взаимодействие управляющего компьютера с модулями автоматизированной установки осуществляется с помощью программ управления для различных видов ЭПП, разработанных в среде графического программирования LabVIEW. Каждая программа реализует обмен данными между модулями автоматизированной установки и формирует управляющие воздействия на исполнительные механизмы установки в режиме реального времени. Также управляющий компьютер осуществляет сбор, обработку, архивирование и отображение информации о технологических параметрах ЭПП.

Таким образом, разработанная модульная конструкция автоматизированной технологической установки позволяет реализовывать различные виды электролитно-плазменных процессов обработки металлов и сплавов.

### **Архитектура информационно-управляющей системы «умное предприятие» для технологий плазменно- электролитической обработки**

Мелихов В.В., Федичкин И.Д., Чудинов Д.Б.

Научный руководитель – Людин В.Б.

МАИ, г. Москва

Начиная с 2000-х годов, развивается новая концепция управления производством, основанная на использовании информационно-управляющих систем «умное предприятие». Эти системы в подавляющем большинстве позволяют решать проблемы планирования и управления производственными процессами предприятия и относительно редко они обеспечивают управление его технологическим производственным оборудованием. Последнее связано с отсутствием «умного» технологического оборудования способного встраиваться в подобную информационно-управляющую систему. Не исключение составляет и технологическое оборудование, используемое для плазменно-электролитической обработки – в настоящее время отсутствует серийно выпускаемое оборудование, оснащенное необходимым интерфейсом [1].

К настоящему времени подавляющее большинство информационно-управляющих систем «умное предприятие» выполняются по web-

ориентированной клиент-серверной сетевой архитектуре. Для снижения издержек на создание и эксплуатацию таких систем при их разработке реализуются принципы сервис-ориентированной архитектуры [2].

Вместе с тем, в подавляющем большинстве систем управления технологическим оборудованием реализована централизованная архитектура - управление осуществляется от единого контроллера технологического оборудования, к которому подключены интерфейсные устройства, датчики и исполнительные устройства. Для эффективного управления технологическим оборудованием в информационно-управляющей системе «умное предприятие» целесообразно реализовать многоуровневую комбинированную сетевую архитектуру. На уровне интерфейса управления технологическим оборудованием реализовать web-ориентированную клиент-серверную сетевую архитектуру, на уровне взаимодействия со смежным технологическим оборудованием реализовать клиент-серверную сетевую архитектуру, а на уровне управления технологическим оборудованием – централизованную сетевую архитектуру.

Для применения в информационно-управляющих системах «умное предприятие» было разработано интеллектуальное устройство для плазменно-электролитической обработки группы деталей. В микроконтроллерной системе управления этого устройства был реализован многоуровневый сетевой интерфейс, обеспечивающий взаимодействие устройства по предложенной многоуровневой комбинированной сетевой архитектуре. Была проведена экспериментальная апробация разработанного устройства, подтвердившая его эффективность.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Суминов И.В., Белкин П.Н., Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Крит Б.Л., Борисов А.М. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов. В 2-х томах. Том II. – М.: Техносфера, 2011. – 512 с.

2. Компас в мире сервис-ориентированной архитектуры (SOA)/ Норберт Биберштейн, Сенджей Боуз, Марк Фиаммант, Кейт Джонс, Рон Ша – М.: КУДИЦ-Пресс, 2007 – 256 с.

## **Влияние качества сварочного шва на магнитные свойства экранов лазерного гироскопа**

Мерзляков Р.Д., Мерзлякова В.А.

Научный руководитель – Тихонов С.А.

МАИ, г. Москва

Магнитные экраны являются важным элементом лазерного гироскопа. В связи с тем, что экранирование обусловлено индуцированием вихревых токов в толще экрана, его характеристики зависят от магнитной проницаемости и толщины металла экрана. И если первое регулируется выбором сплава, то второе в местах сварного соединения будет отличаться от толщины проката. Поэтому обеспечение равномерности толщины проплавления на швах и максимального ее значения имеет большую значимость при изготовлении экранов.

Принцип действия электромагнитного экрана состоит в том, что, отражая и направляя поток электромагнитной энергии, создаваемый источниками поля, экран отводит его от защищаемой области пространства, не допуская в эту область. Под действием первичного поля (поля источников) на поверхности экрана индуцируются заряды, а в его толще - токи и магнитная поляризация. Эти заряды, токи и поляризация создают вторичное поле. От сложения вторичного поля с первичным образуется результирующее поле, которое в защищаемой области пространства оказывается слабее первичного.

Исходя из основных требований, предъявляемых к магнитному экрану, для его изготовления целесообразно использовать магнитно-мягкие сплавы, так как они обладают высокой магнитной проницаемостью, а именно сплав 79НМ.79НМ – прецизионный сплав с магнитомягкими свойствами, состоящий из железа и никеля (78,5-80%) с добавками Мо, Мп, Сг. Сплав обладает наивысшей магнитной проницаемостью в слабых полях, максимальная проницаемость у материала составляет 0,2 Гн/м, малой коэрцитивной силой, почти нулевой магнитострикцией и значительным магниторезистивным эффектом.

Экраны датчика лазерного гироскопа изготавливали из листов пермаллой марки 79НМ толщиной 0.5 мм. Сварку выполняли на установке КВАНТ 15 (длина волны 1.06 мкм) с энергией импульса 10 Дж в среде азота. Качество сварки оценивали по выборке из 36 экранов, разбитых на следующие 3 группы по параметрам сварки.

- Шов выполнен коэффициентом перекрытия 90%. Геометрически он составляется таким образом, чтобы обеспечивать практически сквозное проплавление.
- Швы второй группы отличаются тем, что стык делается «заподлицо». Таким образом, глубина проплавления несколько уменьшается.
- В третьей группе изменен коэффициент перекрытия и составляет 50%. Геометрически представляет собой шов 1 группы.

Измерения коэффициента экранирования проводились на стабилизаторе тока индуктивности с подключенными к нему катушками Гельмгольца. Прибор позволяет реверсировать ток в задающей катушке с целью изменения направления магнитного поля, а также с помощью дополнительной катушки компенсировать паразитные внешние магнитные поля. Съем информации производится щупом микротесламетра, помещенным внутрь экрана.

Экраны первой и второй группы показали приемлемые значения коэффициента экранирования. Значения КЭ третьей группы оказались ниже, что при неаккуратном обращении при сборке может повлиять на итоговую годность изделия.

## **Автоматизированная система для исследования акустических частотных характеристик процесса электролитно-плазменного полирования**

Громова М.С., Мукаева В.Р.

Научные руководители – Парфенов Е.В., Лютов А.Г.  
УГАТУ, г. Уфа

Процесс электролитно-плазменного полирования (ЭПП) позволяет проводить финишную обработку поверхности металлических деталей с высокой производительностью в нетоксичных электролитах. ЭПП проводится при повышенных напряжениях и сопровождается образованием парогазовой оболочки (ПГО) с газовым разрядом у поверхности обрабатываемой детали, включенной в цепь в качестве анода.

Характеристики процесса кипения электролита на поверхности анода взаимосвязаны с режимами технологического процесса, такими как температура электролита, напряжение на электродах, и с особенностями распределения энергии и температуры на поверхности кипения. Акустические колебания возникают при росте и схлопывании пузырьков ионизированного газа в ПГО. Изучение звуковых явлений в ходе ЭПП не проводилось ранее и представляет значительный интерес в теоретическом плане, так как физика процесса в достаточной степени не изучена. Поэтому в работе поставлена задача разработки и апробации автоматизированной системы для исследования акустических частотных характеристик процесса ЭПП.

Для оценки акустических частотных характеристик к постоянному напряжению на электролизере добавлялись тестовые диагностирующие сигналы с циклически изменяющейся частотой в диапазоне 20-2000 Гц с интервалом повторения 12 с. Величина постоянного напряжения и стабилизированной температуры в разных экспериментах варьировалась согласно матрице планирования в диапазонах 225...325 В и 70...90 °С соответственно. Рядом с электролизером была установлена цифровая камера, обеспечивавшая запись видео и звука. Файлы звукозаписи в WAV формате были обработаны в программной среде MATLAB с помощью прогона сигнала через полосовые фильтры, выделяющие полосы частот, соответствующие ступеням частот диагностирующего сигнала.

В результате обработки экспериментальных данных получены амплитудные частотные характеристики акустических колебаний при разных условиях обработки, из которых следует:

- амплитуда акустических колебаний увеличивается при повышении напряжения на электролизере и понижении температуры электролита;
- диапазону частот 400-700 Гц соответствуют акустические колебания наибольшей амплитуды;
- наличие пика амплитуды акустических колебаний в диапазоне частот 400...700 Гц соответствует пику на частотной характеристике электрической проводимости системы электрод-ПГО-электролит процесса ЭПП, что свидетельствует о взаимосвязи акустических и электрических характеристик.

Таким образом, автоматизированная система для исследования акустических частотных характеристик процесса ЭПП может быть использована в составе

автоматизированной системы управления технологическим процессом ЭПП для диагностики состояния технологического процесса.

## **Влияние термообработки на комбинационное рассеяние лазерного излучения углеродным волокном**

Овчинников М.А., Казаков В.А.

Научный руководитель – Борисов А.М.

МАИ, ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», г. Москва

Развитие технологий производства компонентов для аэрокосмической и ядерной отраслей производства устанавливает жесткие требования к конструкционным материалам. Разнообразием таких материалов являются углерод-углеродные и углерод-керамические композиционные материалы, армирующим элементом в которых служат углеродные волокна. При производстве подобных композитов часто используют волокна из полиакрилонитрила (ПАН). Получение из ПАН-волокна углеродных волокон на всех стадиях технологического процесса производства (окисление, карбонизация и графитизация) сопряжено с увеличением температуры и постоянными изменениями в молекулярной структуре волокна. Мотивацией к описанному в данной работе исследованию послужили работы по измерению спектра комбинационного рассеяния света (КРС) при карбонизации и графитизации на гидратцеллюлозном (ГЦ) волокне [1], которые показали значительное влияние конечной температуры обработки на КРС спектры образцов при карбонизации и графитизации. В спектре КРС углеродно-графитовых материалов имеются два основных пика отражающих структурные особенности волокна: G-пик (пик графита) наблюдаемый в области смещения  $\Delta k = \lambda_L^{-1} - \lambda_{KR}^{-1} = 1580 \text{ см}^{-1}$  и D-пик (пик дефектов) области смещения  $\Delta k = 1350 \text{ см}^{-1}$ , отражающий различные дефекты, в том числе разупорядоченность кристаллитов.

В настоящей работе получены спектры КРС для ПАН-волокна с конечной температурой обработки  $1000^\circ\text{C}$ , последующие этапы термообработки проводили при температурах 1450, 1550 и  $1650^\circ\text{C}$ . Также получены спектры КРС волокна марки «Кулон», получаемого из ПАН. Спектры регистрировали на спектрометре КРС HoribaT6400 при возбуждении лазерным излучением с длиной волны  $\lambda_L = 514.5 \text{ нм}$ . Для предотвращения нагрева образцов мощность излучения составляла 1 мВт при диаметре пятна  $\sim 25 \text{ мкм}$ . В ходе работы произведено исследование структуры углеродного волокна и влияния температуры обработки при карбонизации и начале графитизации методом КРС. После компьютерной обработки спектров и разложения на кривые Гаусса оказалось, что интенсивность G-пика монотонно возрастает при увеличении температуры, что в свою очередь говорит нам об увеличении графитовой фазы в образце. D-пик при температурах 1450, 1550 и  $1650^\circ\text{C}$  раскладывается на две гауссианы с разной полушириной и интенсивностью. Одна гауссиана имела большую полуширину и интенсивность ( $D_1$ ), а вторая - меньшую полуширину и меньшую по сравнению с  $D_1$  и G интенсивность ( $D_2$ ). В спектрах ПАН-волокна при температуре обработки  $1000^\circ\text{C}$  и для волокна «Кулон» наблюдались одиночные D- и G-пики. Отношение интенсивностей  $I_D/I_G$  (в том числе  $I_{(D_1+D_2)}/I_G$ ,

для D-пиков с двумя гауссианами), при заданных выше температурах, и определяющее размеры кристаллитов в волокне [2], показало, что для всех образцов только отношение интенсивностей  $I_{D2}/I_G$  отражает реальные процессы, происходящие в волокне, то есть увеличение размеров кристаллитов. Найденные закономерности могут быть использованы для идентификации и контроля технологии получения углеродного волокна из ПАН.

ЛИТЕРАТУРА:

Kong.K., Deng L., Kinloch I.A., Young R.J., Eichhorn S.J.//J. Mater Sci, V.47, 2012, pp.5402-5410

Virgiliev'ev Yu.S., Kalyagina I.P. "Carbon-carbon composite materials", Inorganic Materials, 2004. V.40. Suppl.1. pp.S33-S49.

## **Разработка принципиальной схемы обработки деталей блиск**

Олейник А.В.

Научные руководители – Смыслова М.К., Дыбленко Ю.М.

УГАТУ, г. Уфа

Поиск новых технологий в авиастроении сводится к двум факторам-снижение веса и увеличение мощности. Использование для замковой части лопатки более прочного при соответствующих условиях работы сплава, из которого изготавливаются диски, или вообще - исключение замкового соединения (конструкция, известная под названием «блиск») позволяют уменьшить массу рабочего колеса, а его ресурс увеличить. Выигрыш в весе для него может достигнуть 30%, причем этот эффект возрастает при увеличении заданного времени наработки при одинаковых оборотах и прочих равных условиях.[1]

Предлагаемый для использования в современных ГТД блиск имеет проблемы с ремонтпригодностью, повреждение одной лопатки требует снятия блиска полностью двигателя[1]. У рабочего колеса с составными лопатками этот недостаток отсутствует. Это ставит вопрос о надежности, живучести, ресурсе, и, как следствие, о применении перспективных технологий упрочнения поверхностных и приповерхностных слоев блиска.

Наиболее перспективными и прецезионными процессами упрочнения лопаток компрессора считаются вакуумно-ионноплазменные процессы, которые получили широкое внедрение в наиболее перспективных ГТД. Они позволяют повысить микротвердость до 25000 МПа, эрозионную и коррозионную стойкости от 2 до 5 раз, а также предел выносливости от 10 до 30%. Для этого в УГАТУ создано специализированное оборудование, которое осуществляет серийные технологические процессы на УМПО применительно к отдельным лопаткам.

Применительно к блиску из-за конструктивных особенностей изделия вакуумные ионно-плазменные процессы использовать очень трудно. Это в первую очередь связано с областью оптической тени, где плотность плазмы заметно ниже. К тому же необходимо равномерное нанесение покрытия как на переднюю, так и на заднюю поверхность блиска.

Это ставит вопрос о создании в вакуумном объеме плазмы, близкой к объемной, как при проведении упрочнения методом имплантации, так и при осаждения. Особое внимание нами уделено в принципиальной схеме построения

технологического оснащения в вакуумной камере, позволяющей и обеспечивающей равномерную обработку изделия в вакуумном объеме. Предлагаемый нами подход к созданию метода упрочнения заключается в подаче отрицательного потенциала смещения на имитатор блиска, погружённый поочередно в близкую к объемной газовую и металлическую плазму, т.е. как-бы создание плазменного котла. Объемная плазма создается путем расположения ионных и плазменных источников во встречных потоках, так чтобы в любой точке изделия неравномерность ионного тока не более 10%. Это позволяет избежать проблему прямолинейного распространения частиц (line-of-sightrestriction). [2] Таким образом плазма образует тонкий слой из частиц одного знака вокруг изделия, которые впоследствии бомбардируют поверхность.

Используемые нами подходы в организации процессов широко исследовались и были описаны способы создания и применения плазмы для обработки деталей сложной формы. В университете Гонконга был описан способ обработки цилиндрических отверстий при помощи дополнительного электрода. [3] В Калифорнийском, а также Томском университетах описаны способы создания объемной плазмы ВДР [4][5].

С целью решения производственной проблемы нами была разработана принципиальная схема установки по обработке детали блиск во встречных пучках частиц, которая оформлена в виде заявки на изобретение.

ЛИТЕРАТУРА:

1. <http://engine.aviaport.ru/issues/02/page32.html>
2. Handbook of Plasma Immersion Ion Implantation and Deposition/ Andre Anders- John Wiley & Sons, Inc, 2000г.-737 с.
3. Plasma-Immersion Ion Implantation of the Interior Surface of a Small Cylindrical Bore Using an Auxiliary Electrode for Finite Rise-Time Voltage Pulses/ Xuchu Zeng, Tat-Kun Kwok, Aiguo Liu, Paul K. Chu, Baoyin Tang, and Terrence E. Sheridan, IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE, VOL. 26, NO. 2, 1998г - 6 с.
4. Metal plasma immersion ion implantation and deposition on using vacuum arc plasma sources/ A. Anders, S. Anders, I. G. Brown, M. R. Dickinson, and R. A. MacGill- Vac. Sci. Technol. 1994г.
5. Оборудование и методы импульсно-периодической ионной и плазменной обработки материалов/ Степанов И.Б. - Томск, 2010 г.

### **Определение послойных профилей водорода в приповерхностных слоях твёрдых тел на основе электронной спектроскопии**

Грязев А.С., Ридзель О.Ю.

Научный руководитель – Афанасьев В.П.

МЭИ, г. Москва

Углеродные и углеводородные материалы занимают важное место как в медицине, так и в различных областях науки и техники. Количественный анализ связанного водорода имеет огромный интерес в системах управляемого термоядерного синтеза и в технологических задачах водородной энергетики.

На современном этапе развития технологий приоритетным направлением являются нанотехнологии. Исследование наноразмерных образцов создаёт

дополнительные затруднения. К настоящему моменту особую значимость для диагностики объектов на наномасштабах приобретают методы электронной спектроскопии, имеющие высокое энергетическое разрешение, позволяющие проводить исследование in-situ, real-time и являющиеся неразрушающими.

Ряд работ (например, [1, 2]), проведённых в начале XXI века, показал возможность диагностики водорода на основе спектроскопии пиков упруго отражённых электронов (СПУЭ, Elastic Peak Electron Spectroscopy, EPES). Количество водорода отождествляется с площадью под пиком, сформированным электронами, упруго отражёнными от ядер водорода, дейтерия и трития. Учитывая, что указанные пики накладываются на фон неупруго рассеянных электронов, задача определения площади становится нетривиальной.

Для решения задачи о восстановлении послойного профиля изотопного состава поверхности необходимо использовать комплексный подход, состоящий из нескольких методов электронной спектроскопии. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС) решает в данной методике следующие задачи: 1. определение поверхностных примесей; 2. определение сечения однократного неупругого рассеяния электронов в данном образце [3, 4]. Для спектра СПУЭ рассчитываются не только пики упруго отражённых электронов, но и фон неупруго рассеянных электронов, используя полученное сечение. Представленный метод позволяет определять состав мишени в слое порядка средней длины свободного пробега электрона между двумя последовательными неупругими рассеяниями  $l_{in}$ .

Данный подход реализован для определения содержания водорода в углеводородном образце, для которого  $l_{in}=6.5$  нм.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Vos M. Detection of hydrogen by electron Rutherford backscattering // Ultramicroscopy. 2002. V. 92 (3-4). P. 143–149.
2. Yubero F., Tokesi K. Identification of hydrogen and deuterium at the surface of water ice by reflection electron energy loss spectroscopy // Applied Physics Letters. 2009. V. 95 (8). P. 084101.
3. Afanas'ev V., Golovina O., Gryazev A., Efremenko D., Kaplya P. Photoelectron spectra of finite thickness layers // Journal of Vacuum Science and Technology B. 2015. V.33 (3). P. 03D101.
4. Афанасьев В.П., Грязев А.С., Капля П.С., Андреева Ю.О., Головина О.Ю. Спектры характеристических потерь энергии ниобия, дифференциальные сечения неупругих потерь энергии и рентгеновские фотоэлектронные спектры с угловым разрешением // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2016. №1. С. 73-79.

## **Формирование наноструктурных покрытий на основе оксида гафния при плазменном напылении**

Савушкина С.В.

Научный консультант – Полянский М.Н.  
ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», г. Москва

Для обеспечения надежной работы теплонапряженных узлов ракетно-космической техники требуется их защита от слишком сильного нагрева, окисления, эрозии. Для решения этих проблем проводят нанесение на них теплозащитных покрытий (ТЗП). Перспективными верхними слоями ТЗП являются высокотемпературные оксиды, обладающие повышенным тепловым сопротивлением, такие как диоксид циркония, оксид гафния и др. В настоящее время особый интерес направлен на уменьшение теплопроводности теплозащитного покрытия, поскольку это позволит увеличить его рабочую температуру и уменьшить толщину. В работах [1,2] замечено, что покрытия на основе оксида гафния менее подвержены спеканию и обладают более длительной выдержкой при термоциклических испытаниях и выдерживают испытания при 2600 °С, что делает их перспективными в качестве термобарьерных слоев ТЗП. Использование оксида гафния в качестве теплозащитных слоев может увеличить рабочий диапазон температур теплонапряженных конструкций и увеличить срок их службы.

В данной работе получали покрытия на основе оксида гафния толщиной ~ 50 мкм методом плазменного напыления сверхзвуковой струей в разреженной атмосфере. С целью формирования наноструктурного покрытия для напыления использовали сопла, в сверхзвуковых частях которых сконструированы, основываясь на закономерностях Прандтля-Майера [3], области с резким расширением, позволяющие увеличить долю наночастиц в покрытии. Покрытия исследовали с помощью растровой электронной микроскопии, рентгеновского микроанализа и рентгеновской дифракции.

Структура покрытия сформирована из деформированных частиц размером более 20 мкм, на поверхности и на стыках, которых расположены слои и конгломераты наночастиц размером 0,03÷0,04 мкм. Наличие наночастиц в покрытии показывает, что в процессе напыления происходило образование паровой фазы напыляемого материала, поскольку исходный размер частиц порошка составлял 10÷50 мкм. Для наноструктурного покрытия характерно отсутствие крупных пор и более равномерное их распределение, что может способствовать улучшению функциональных характеристик покрытий. По данным рентгеновского микроанализа содержание Hf- 33ат%, O- 67ат%. В покрытии получены кубическая и моноклинная модификации оксида гафния и высокая доля аморфной составляющей. Наличие высокотемпературной кубической фазы и аморфной составляющей связаны с высокими скоростями охлаждения покрытий, а также показывают что температура их формирования составляла более 2500 °С.

### **ЛИТЕРАТУРА:**

1. ZhuD.-M., BansalN.P., Miller R.A.// Thermal/Environmental Barrier Coating Applications 105th Annual Meeting and Exposition of the American Ceramic Society

sponsored by the American Ceramic Society Nashville, Tennessee, April 27–30, 2003. 9p.

2. Ferrier M., Bonnet J.-P., Claus J., Chaput C., Ducros G., Piluso P. //Proceedings of the International Youth Nuclear Congress, 2006, Stockholm, Sweden – Olkiluoto, Finland, 18 – 23 June, No. 490. 15 p.

3. Борисов, А.М., Востриков, В. Г., Полянский, М.Н. Романовский, Е.А. Савушкина, С.В., Суминов, И.В., Ткаченко Н.В. //Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2015, № 3, с. 40–44

## **Влияние анодной электролитно-плазменной нитроцементации на износостойкость стали 35**

Севостьянова В.С.

Научный руководитель – Дьяков И.Г.

КГУ им. Н.А. Некрасова, г. Кострома

Скоростная анодная электролитно-плазменная (АЭП) обработка является одним из эффективных методов локального изменения физико-химических свойств поверхности стальных изделий [1]. В частности, АЭП нитроцементация часто применяется для упрочнения деталей машин, подверженных интенсивному износу в процессе эксплуатации, а также для повышения их пластичности и ударной вязкости. Целью работы является изучение влияния режимов нитроцементации стали 35 методом анодного электролитно-плазменного нагрева в растворах на основе карбамида.

Анодной электролитно-плазменной нитроцементации подвергались образцы из стали 35 в виде цилиндров диаметром 12 и высотой 15 мм. В электролите, содержащем 10 % хлорида аммония и 10 % карбамида, образцы обрабатывались в течение 5-и минут при фиксированной температуре из интервала от 500 до 950 °С, затем образец выдерживался 30 секунд при температуре 850 °С. Закалка проводилась в электролите отключением напряжения на системе. Для исследования микротвердости применялся микротвердомер ПМТ–3М с массой нагрузки 50 г. Исследование коэффициента трения и массового износа образцов проводилось по схеме «палец по диску» со смазкой «Литол-24». Нормальная нагрузка составляла 208,6 Н, скорость скольжения 0,49 м/с с диском-контртелом из закаленной стали 45 (50 HRC).

Установлено, что распределение микротвердости зависит от температуры обработки, причём как на краю образца, так и в глубине. Так, на расстоянии 10 мкм от края при увеличении температуры обработки от 500 до 950 °С твердость возрастает почти линейно от 480 до 906 HV. На глубине 500 мкм – твердость лежит в пределах от 302 до 440 HV для различных исследованных температур. Самые низкие значения твердости наблюдались для значений температуры обработки 500 и 600 °С.

Массовый износ также сильно зависит от температуры обработки. Минимальное значение убыли массы 4,5 мг на пути трения в 500 метров наблюдается для образцов, обработанных при температуре 600 °С. При понижении и повышении температуры обработки износ растёт, достигая значения 20 мг при температуре 900 °С на том же пути. Массовый износ коррелирует с твердостью, причем образцы, обработанные при низких

температурах (500-600 °С) характеризуются низкими значениями твёрдости и маленьким износом, в отличие от данных по нитроцементации, имеющих для других марок стали, например, для стали 45 [1]. Вероятно, такое явление связано с образованием упруго-вязкой структуры с хорошей прирабатываемостью материала при трении.

Процессы, происходящие на поверхности образца-анода: анодное растворение железа, а также диффузия ионов электролита через плазму в поверхностный слой образца, качественно меняют поверхность и её шероховатость. Повышение температуры нитроцементации стали 35 от 500 до 900 °С приводит к уменьшению шероховатости поверхности *Ra* от 1,24 до 0,3 мкм. Скорее всего, сглаживание шероховатости связано с уменьшением количества пор в оксидном слое, которые наряду с вакансиями являются проводниками ионов азота и углерода из электролита в материал.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (контракт № 15–13–10018) Костромскому государственному университету им. Н.А. Некрасова.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Т.Л. Мухачева, И.Г. Дьяков // Быстрозакаленные материалы и покрытия: материал 7 Всероссийской с международ уч. Науч.-техн. Конф. - М.: МАТИ, 2008. С. 85-88.

### **Трибологические и коррозионные характеристики стали 45 после анодного электролитно-плазменного азотирования**

Климов Н.С., Сидорова Н.К., Смирнов А.А.

Научный руководитель – Кусманов С.А.

КГУ им. Н.А. Некрасова, г. Кострома

Диффузионное насыщение стали азотом существенно повышает твердость поверхностного слоя, его износостойкость и коррозионную стойкость в атмосфере, парах воды и др. Азотирование проводят в газовых средах, содержащих аммиак, расплавах солей, плазме тлеющего разряда. Электролитно-плазменное азотирование (ЭПА) имеет преимущества перед вышеуказанными методами обработки: скорость обработки, низкая стоимость, возможность локального насыщения, совмещение с закалкой. Анодное ЭПА лишено опасности перегрева и оплавления поверхности, а также позволяет снизить шероховатость поверхности из-за анодного растворения.

Целью данного исследования является выявление влияния состава электролита и режима азотирования на коррозионные и трибологические свойства стали 45.

Анодному ЭПА подвергались цилиндрические образцы из стали 45 высотой 15 мм и диаметром 12 мм. Азотирование проводилось в нитратном (15% хлорида аммония и 5% нитрата аммония) и аммиачном (10% хлорида аммония и 5% аммиака) электролитах. Обработка проводилась при различных температурах с последующей закалкой в электролите.

Показана возможность снижения плотности тока коррозии стали 45 в среде сульфата натрия (0,1 н.) в 16 раз после анодного электролитно-плазменного азотирования в растворе хлорида аммония (15%) и нитрата аммония (5%) при

750 °С в течение 5 мин. Азотирование в растворе хлорида аммония (10%) и аммиака (5%) при 750 °С в течение 10 мин позволяет снизить плотность тока коррозии стали в 6 раз. Повышение коррозионной стойкости стали связано с образованием поверхностного оксидного слоя и нитридно-мартенситной зоны.

Испытания образцов на трение со смазкой показали, что коэффициент трения образцов, азотированных при всех условиях, снижается по сравнению с контрольным образцом. Массовый износ стали 45, азотированной в аммиачном электролите при 750 °С в течение 10 мин уменьшается более чем в 9 раз по сравнению с контрольным образцом при снижении коэффициента трения от 0,17 до 0,12. Азотирование в нитратном электролите также дает наименьший износ при 750 °С за 10 мин, но он уступает результату аммиачного электролита из-за меньшей твердости нитридно-мартенситного подслоя.

Испытания стали 45 также показали снижение коэффициента сухого трения от 0,41 у контрольного образца до 0,28 у азотированного (750 °С, 5 мин) на пути скольжения 175 м. Повышение нагрузки приводит к уменьшению коэффициента трения, что говорит о сохранении режима упругого контакта и хорошей прирабатываемости оксидного слоя в изученных пределах. Линейный износ образцов снижается от 35 до 21 мкм при нагрузке 10 Н и скорости скольжения 0,4 м/с на пути 150 м.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (контракт № 15–13–10018) Костромскому государственному университету им. Н.А. Некрасова.

### **Один из аспектов интенсификации процесса резания металлов**

Соколов С.В.

Научный руководитель – Сальников В.С.

ТулГУ, г. Тула

При интенсификации процессов разрушения одной из задач является создание в нужном месте и в нужное время локальных зон, отличающихся повышенным поглощением энергии, то есть зон активация. Необходимым условием эффективного воздействия нескольких энергетических потоков разной физической природы является их согласование в пространстве и времени. Перспективным генератором такого рода потоков является электрический источник. Он отличается высокой оперативностью и гибкостью в управлении.

Для обеспечения единого подхода к электрическим и механическим процессам, протекающим в зоне предразрушения в условиях интенсификации процесса резания электрическим током, предложено использовать положения дислокационной теории, объясняющие изменение электрического сопротивления и прочности эволюцией дислокационной структуры локального объема обрабатываемого материала.

При определенных длительностях импульсов электрического тока, подводимых к зоне резания, стадия теплового разогрева перемычек между трещинами может перейти в режим микровзрывного испарения. Для оценки влияния параметров импульсов на возможность достижения такого режима необходимо учитывать параметры источника электрической энергии.

В качестве источника, генерирующего импульсы электрического тока, выбрана типовая схема с накопителем энергии – конденсатором. Она позволяет формировать импульсы тока заданной энергии, определяемой энергией, накопленной в конденсаторе.

Нагрузкой для него является зона резания, электрические характеристики которой определяются условиями упругопластического деформирования, тепловыми и электродинамическими процессами.

Поскольку длительности предлагаемых интенсифицирующих импульсов меньше времени образования элемента стружки, принято допущение: в течение их действия условия упругопластического деформирования в зоне предразрушения не изменяются.

Электрический микровзрыв перемычек между микротрещинами возможен только в том случае, когда тепловая энергия, выделившаяся в перемычке, больше энергии сублимации ее массы. Проведенные исследования показывают, что разрыву перемычки и фазе образования плазмы соответствует некоторая стабилизация тока. Амплитуда импульсов тока, как правило, на порядок больше, средняя его величина существенно меньше, значений постоянного тока в известных способах интенсификации. Это объясняется большой скачкообразностью импульсов, 10 и более. Во время электрического микровзрыва перемычки между трещинами образуется интенсивно расширяющаяся плазменная область, которая так же является дополнительным воздействием, способствующим направленному разрушению зоны резания.

Микровзрыв играет роль инициализатора разрушения, то есть определяет начало одной или нескольких трещин благодаря увеличению критического их размера из-за удаления перемычки, после которого происходит их самопроизвольный рост, носящий лавинообразный характер.

## **Исследование процесса микродугового оксидирования алюминиевых сплавов в многокомпонентных электролитах-суспензиях с наночастицами**

Солодова Т.В.

Научный руководитель – Федорова Л.В.

МАИ, г. Москва

В наши дни применение алюминиевых сплавов находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности, свидетельством чему может являться рост их производства. Однако не всегда свойства готовых сплавов удовлетворяют потребностям производства. Так выбранный алюминиевый высокопрочный сплав В95, несмотря на сравнительно высокую прочность и коррозионную стойкость, имеет ряд недостатков: пониженная пластичность, большая чувствительность к повторным нагрузкам, к коррозии под напряжением и склонность к резкому снижению прочностных характеристик при повышении температуры выше 1400°С. В связи с этим данной целью является увеличить прочность при высоких температурах, повысить пластичность, коррозионную стойкость и износостойкость путем нанесения поверхностных защитных покрытий. В последнее время для этих целей все шире применяется микродуговое оксидирование (МДО).

Суть МДО заключается в возникновении на поверхности детали мигрирующих точечных микродуговых разрядов, под термическим, плазмохимическим и гидродинамическим воздействием которых поверхностный слой детали перерабатывается в керамическое покрытие, прочно сцепленное с основой.

В ходе эксперимента обработка проводилась в электролитах трех составов в различных концентрациях и в мягком анодно-катодном режиме. За основу нерастворимого компонента (НРК) бралась художественная глина. Временной интервал МДО-обработки составлял от 50 до 150 мин.

Анализ результатов проведенных экспериментов показал, что добавка в электролит НРК влияет на толщину получаемых покрытий, сквозную пористость и износостойкость, что является основным показателем улучшения коррозионнозащитной способности и жаростойкости. Также при анализе полученных данных обращает на себя внимание то, что добавка в электролит НРК оказывает практически одно и то же влияние на микротвердость. Максимальная во всех рассмотренных случаях микротвердость составляет около  $2300 \text{ кг/мм}^2$ , что всего на  $200 \text{ кг/мм}^2$  меньше твердости (корунда)  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ . Сравнительно высокая микротвердость объясняет повышенную теплостойкость.

В целом, по результатам проведенных исследований, можно сделать вывод, что при обработке в суспензии алюминиевого сплава В95 путем процесса МДО, наблюдается значительное повышение заданных физико-механических свойств. Соответственно технологичность и область применения данного сплава значительно возрастает.

### **Исследование процесса плазменно-электролитического оксидирования титана с различным структурным состоянием**

Мелемчук И.А., Стоцкий А.Г., Чернейкина Я.В.

Научный руководитель – Мукаева В.Р.

УГАТУ, г. Уфа

Технологический процесс плазменно-электролитического оксидирования (ПЭО) позволяет формировать оксидные покрытия на поверхностях легких металлов и их сплавов. Процесс проводится при высоких напряжениях 400-600В в экологических водных растворах солей малой концентрации; обрабатываемая деталь включается в цепь в качестве анода. Получаемые покрытия обладают высокой адгезией и имеют развитую пористую поверхность благодаря действию микроарзрядов, появляющихся за счет высокого напряжения. Одним из актуальных и перспективных применений метода ПЭО является формирование биосовместимых покрытий, применимых в медицине для создания имплантатов костей. Данная работа посвящена исследованию процесса плазменно-электролитического оксидирования титана, широко применяемого в хирургии из-за его бионертности и повышенных коррозионных свойств.

Экспериментальные исследования были проведены с использованием автоматизированной установки для изучения процессов ПЭО в импульсном режиме с амплитудой положительных и отрицательных импульсов 470 В и -40 В соответственно. В качестве образцов были использованы пластины крупнозернистого ( $d \approx 15 \text{ мкм}$ ) и наноструктурированного ( $d \approx 200 \text{ нм}$ )

коммерчески чистого титана Cp-Ti Grade 4 с шероховатостью поверхности  $R_a$  0,10...0,15 мкм. Согласно плану экспериментов организована попеременная вариация одного из параметров относительно базовых условий. В качестве варьируемых параметров приняты длительность обработки 5...10 мин, концентрация базового компонента электролита  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  20...30 г/л, температура электролита 10...20 °С, частота импульсов 300...1000 Гц и наличие биодобавки 25 г/л ацетата кальция.

В результате экспериментов были получены покрытия толщиной 13...38 мкм с шероховатостью поверхности  $R_a$  1,0...1,5 мкм. Показано, что при увеличении длительности обработки наблюдался пропорциональный рост толщины покрытия. Увеличение концентрации электролита привело к значительному увеличению толщины покрытия и нарушению сплошности на краях образца. С уменьшением температуры наблюдается замедление роста оксидного слоя и большой разброс шероховатости поверхности, что свидетельствует о неравномерности покрытия. Изменение частоты импульсов не привело к значительному изменению свойств покрытия. При введении биодобавки Са и Р успешно внедрились в состав покрытия, было получено равномерное покрытие с малым разбросом шероховатости поверхности  $R_a$ . Введение биодобавки не повлияло на толщину полученного покрытия.

Таким образом, в работе проанализировано влияние различных параметров на характеристики оксидного биосовместимого покрытия на титане и выявлены оптимальные условия для создания сплошного покрытия.

### **Модифицирование 45 стали методом анодного электролитно-плазменного борирования**

Тамбовский И.В., Свистунов Р.Д.

Научный руководитель – Белкин П.Н.

КГУ им. Н.А. Некрасова, г. Кострома

Одной из главнейших задач современного металловедения является создание высокопрочных и стойких материалов. Совершенствование технологических процессов существенным образом зависит от развития методов модификации поверхности металлов и сплавов. Приоритетность развития электролитно-плазменных методов модифицирования поверхностей материалов складывается из ряда преимуществ, к которым относятся возможность получения плазменного состояния вещества при атмосферном давлении, высокая скорость обработки, легкость выполнения локального упрочнения. Важно понимать, что эффективность диффузионного насыщения зависит не только от соотношения компонентов в растворе электролита, но и от источников целевых элементов, оказывающих прямое воздействие на формирование поверхности с заданными свойствами. Целью данного исследования является выявление эффективного источника бора при электролитно-плазменной обработке сталей.

Обработке подвергались цилиндрические образцы из стали 45 диаметром 13 и высотой 15 мм. В одном случае насыщение поверхностного слоя осуществлялось в растворе борной кислоты (5% масс) и хлорида аммония (10% масс.), в другом, в виде источника бора, использовалась бора (3% масс).

Обработка проводилась при различных температурах с последующей закалкой в электролите.

Установлено, что в процессе борирования в растворе с борной кислотой после обработки при 800°C на поверхности стали образуется оксидный слой, далее диффузионный слой (твердый раствор бора) и мартенситный слой толщиной до 500 мкм. При увеличении температуры нагрева до 850°C сразу после оксидного слоя происходит образование сплошного боридного слоя. Толщина диффузионного слоя при этом увеличивается с 50 до 125 мкм из-за увеличения скорости диффузии бора с ростом температуры. Микротвердость слоя имеет максимум на границе боридного и диффузионного слоя. Максимальная микротвердость до 1800 НВ наблюдается после обработки при 850°C. В данном случае можно говорить о корреляции микротвердости и толщины диффузионного слоя – в отличие от закалки при 800°C мартенситный слой обнаружен на всем сечении образца (сквозная закалка), т.е. повышение твердости стали происходит при наличии твердого раствора бора в стали и дисперсных боридов. Количественные результаты профилометрического анализа поверхности показали, что после обработки при 850°C шероховатость Ra составила 0,16 мкм против 1,01 мкм для необработанного образца. Следовательно, можно утверждать, что при борировании из раствора борной кислоты происходит значительное сглаживание поверхности.

После обработки в растворе буры и хлорида аммония экспериментально установлен факт диффузии легких элементов в поверхностные слои стали. Микротвердость образцов в этом случае будет значительно ниже (930 НВ) при температуре обработки 850°C. По результатам профилометрического анализа шероховатость составила 0,17 мкм, что соответствует шероховатости образцов, обработанных в растворе борной кислоты.

Согласно полученным данным можно утверждать, что анодное электролитно-плазменное борирование эффективно при 850°C, а наилучшим источником бора для достижения большей твердости является борная кислота.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (контракт № 15–13–10018) Костромскому государственному университету им. Н.А. Некрасова.

### **Повышение повторяемости свойств покрытий при групповой МДО-обработке деталей**

Мелихов В.В., Федичкин И.Д., Чудинов Д.Б.

Научный руководитель – Людин В.Б.

МАИ, г. Москва

Обработка поверхности деталей, изготовленных из алюминиевых, магниевых или титановых сплавов, методом микродугового оксидирования (МДО) позволяет формировать на этой поверхности защитные керамикоподобные покрытия. Эти покрытия обладают высокой адгезией к металлу подложки, инертны к воздействию большинства кислот и щелочей. Методом МДО можно формировать покрытия различного назначения: износостойкие покрытия, коррозионно-защитные покрытия, теплостойкие и жаропрочные покрытия.

Технологии МДО применяются в авиа- космической отрасли, приборостроении, машиностроении и т.д. [1].

Большинство технологий МДО обладают хорошей воспроизводимостью результатов обработки, но вместе с тем, возможен значительный разброс толщин сформированных покрытий. Так при МДО-обработке деталей, изготовленных из алюминиевого сплава АМг-6, относительный разброс толщины покрытий достигает 25-30 %. Этот разброс вызван разным количеством электричества, проходящим через обрабатываемые поверхности одинаковых деталей за время обработки [2].

Процесс МДО проходит в электролите под воздействием электрических газовых разрядов, которые в ходе процесса локализуются в мигрирующих областях на обрабатываемых поверхностях. Подобная локализация и приводит к неравномерному распределению плотности электрического тока и, следовательно, к не одинаковому прохождению количества электричества через обрабатываемые поверхности.

Для подтверждения этой гипотезы был проведен эксперимент, в ходе которого были подвергнуты обработке десять партий по пять образцов, изготовленных из сплава АМг-6. Обработку осуществляли в силикатно-щелочном электролите с помощью конденсаторного технологического источника тока. Обработку проводили в анодно-катодном режиме при равенстве анодного и катодного токов, средняя плотность тока составляла 15 А/дм<sup>2</sup>. Первые пять партий образцов обрабатывали в течение 1 ч, а остальные пять партий - до прохождения 1,1 А·ч электричества через каждый обрабатываемый образец. По достижению этого количества электричества образец извлекали из электролита и поддерживали плотность тока 15 А/дм<sup>2</sup> через оставшиеся образцы в обрабатываемой партии деталей.

В результате эксперимента выяснено, что при МДО-обработке образцов в течение фиксированного времени относительные отклонения толщин сформированных покрытий достигали 24 %, а при фиксированном количестве электричества – 8 %.

Полученные данные позволяют рекомендовать для повышения повторяемости (воспроизводимости) свойств покрытий при групповой МДО-обработке деталей проводить ее до достижения через каждую деталь группы заданного значения количества электричества.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Суминов И.В., Белкин П.Н., Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Крит Б.Л., Борисов А.М. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов. В 2-х томах. Том II. – М.: Техносфера, 2011. – 512 с.
2. Чудинов Д.Б., Виноградов А.В., Панин П.А. Исследование стабильности показателей свойств МДО-покрытий сформированных на сплаве АМг-6 при групповой обработке. XXXIX ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Научные труды международной молодежной научной конференции в 9 томах. М.:МАТИ, 2013. Т.3, С. 128-129.

## **Система стабилизации температуры для процесса плазменно-электролитического оксидирования**

Мелемчук И.А., Стоцкий А.Г., Чернейкина Я.В.

Научный руководитель – Фаррахов Р.Г.

УГАТУ, г. Уфа

Плазменно-электролитическое оксидирование (ПЭО) – процесс нанесения защитных оксидных покрытий электролитно-плазменным методом на легкие сплавы, берущий начало от традиционного анодирования. Отличительной особенностью метода является участие в процессе модифицирования поверхностных микроразрядов, оказывающих весьма существенное и специфическое воздействие на фазо- и структурообразование. В результате состав и строение получаемых оксидных слоев существенно отличается, а их свойства значительно выше по сравнению с традиционным анодированием. Отличительной особенностью покрытий, получаемых методом ПЭО, является относительно высокая пористость покрытия (6-25%). Появление пор связано с действием микроразрядов, пробивающих всю толщину покрытия и способствующих «добыванию» металла для образования оксида. Качество получаемых изделий напрямую зависит от температуры электролита (18-20°C) и напряжения между анодом и катодом (500-600 В).

Цель работы заключалась в разработке и изготовлении автоматической системы регулирования температуры для процессов ПЭО на основе функциональных элементов, имеющих на рынке по минимальной цене.

Система управления температурой электролита работает следующим образом. Через интерфейс RS-485 с управляющего компьютера задается желаемое значение температуры объекта управления – гальванической ванны. С датчиков снимается реальное значение управляемых переменных. Если разность желаемого и измеренного значений температуры превышает установленное значение гистерезиса, то управляющими реле измерителя-регулятора ТРМ-202 на исполнительные элементы подается сигнал включения. Если разница положительна, токонтактор трубчатого электронагревателя включается, и тогда к ванне подводится дополнительное тепло. Если же разница отрицательна, то включается насос радиатора жидкостного охлаждения и с ванны снимается избыточное тепло, которое передается на буферную ёмкость холодильного агрегата. Для выравнивания температуры электролита в ванне предусмотрен барботаж. Для предотвращения разрушения узлов и агрегатов системы, работающих в агрессивной среде, все элементы изготовлены из коррозионностойких материалов.

Предложена структура автоматической системы управления температурой, выбраны ее элементы контроля и измерения: датчик температуры, измеритель-регулятор и исполнительные механизмы: насос для циркуляции охлаждающей жидкости, трубчатый электронагреватель, а также собран и испытан опытный образец системы, который используется в составе автоматизированной установки для исследования электролитно-плазменных процессов. Соблюдение оптимального температурного режима с использованием автоматической системы регулирования для процесса ПЭО позволит получать покрытия с заданными свойствами и уменьшит долю бракованных изделий.

## **Интеллектуальное устройство для микродугового оксидирования группы деталей**

Чудинов Д.Б., Мелихов В.В., Федичкин И.Д.  
Научный руководитель – Людин В.Б.  
МАИ, г. Москва

Технологии микродугового оксидирования (МДО) позволяют модифицировать поверхность обрабатываемых деталей, изготовленной из алюминиевых, магниевых или титановых сплавов, формируя на них керамикоподобные защитные покрытия. Детали с защитными МДО-покрытиями находят применение в авиа- космической отрасли, приборостроении, нефтегазовом оборудовании, химической, пищевой и медицинской промышленности.

МДО-модификация проходит в жидких электролитах под воздействием газовых электрических разрядов, по ходу процесса на обрабатываемых поверхностях происходит локализация этих разрядов в мигрирующих областях. Локализация разрядов приводит к неравномерным распределениям плотности электрического тока через обрабатываемые поверхности, и разным количествам электричества, проходящим через обрабатываемые поверхности за технологический процесс. Это приводит к отклонениям толщины покрытий, формируемых в одинаковых технологических режимах при равных интервалах времени. Для повышения стабильности результатов МДО-обработки предлагается осуществлять завершение технологического процесса не по заданной продолжительности, а по заданному количеству электричества, прошедшему через поверхность обрабатываемой детали.

Для реализации этого способа завершения МДО-процесса было разработано и реализовано пятиканальное устройство. В каждом из пяти каналов предусмотрен холловский датчик тока, протекающего через обрабатываемую деталь и контактор для отключения от источника технологического тока обрабатываемой детали. Оцифровка сигналов датчиков, расчет количества электричества, его контроль и формирование сигналов отключения деталей осуществляется микроконтроллером STM32F407, входящего в систему управления устройством.

Устройство было разработано, как для индивидуального использования, так и для функционирования в составе информационно-управляющего комплекса «умное предприятие» для технологий плазменно-электролитической обработки, к которым и относятся технологии МДО. Для этого в системе управления устройства были предусмотрены WiFi (использован модуль ESP8266 ESP-07) и Fast-Ethernet сетевые интерфейсы и реализованы соответствующие протоколы. Программно на уровне интерфейса управления технологическим оборудованием реализован web-сервер, а на уровне взаимодействия со смежным технологическим оборудованием реализован TCP-клиент/сервер, с поддержкой протокола TCP-Modbus.

С использованием разработанного устройства можно осуществлять одновременную МДО-обработку до 5 деталей. Завершение обработки каждой детали сопровождается звуковым сигналом, отключением детали от источника технологического тока и подачей команды на этот источник для снижения тока обработки. Если требуется обработать группу более 5 деталей, то предусмотрена

возможность сетевой синхронизации работы нескольких устройств для групповой обработки деталей.

Разработанное устройство прошло экспериментальную апробацию, в ходе которой было показано трехкратное снижение относительных отклонений толщины формируемых в одинаковых режимах МДО-покрытий.

### **О возможности применения оптического разряда в импульсно-периодическом режиме**

Соловьев Н.Г., Шилов А.О.

Научный руководитель – Якимов М.Ю.

ИПМех РАН им. А.Ю. Ишлинского, г. Москва

Непрерывный оптический разряд (НОР) [1] к настоящему времени нашел применение как источник излучения высокой спектральной яркости в широком диапазоне длин волн, в частности, благодаря возможности поддержания плазмы в инертных газах при высоком давлении лазерным излучением с длиной волны  $\lambda \approx 1$  мкм при низкой пороговой мощности, обнаруженной авторами [2].

Экспериментально обнаружено [3] новое явление квазистационарного поддержания импульсно-периодического оптического разряда (ИПОР) в ксеноне при  $p = 10$ -20 бар в сфокусированном луче  $\text{Yb}^{3+}$ -лазера при частоте повторения импульсов

$f \geq 2$  кГц, длительности импульса  $\tau \geq 200$  мкс и мощности излучения  $P = 200$ -300 Вт. В начальной фазе развития плазмы импульсная яркость ИПОР в несколько раз превышает стационарное значение для непрерывного оптического разряда (НОР) при той же лазерной мощности, что свидетельствует об увеличении температуры плазмы в режиме ИПОР. По окончании лазерного импульса плазма рекомбинирует и возобновляется в следующем импульсе. Первоначальное поглощение лазерного излучения в очередном импульсе ИПОР обеспечивается возбужденными состояниями атома ксенона  $5p^56s$ .

Источник излучения на основе оптического разряда может использоваться для моделирования воздействия прямого солнечного излучения на корпус космического аппарата, так как доля вакуумного ультрафиолетового излучения разряда при температуре 17000 К и выше практически совпадает с долей вакуумного ультрафиолетового излучения Солнца (9%). Также на основе непрерывного оптического разряда возможны генератор атомных пучков высокой энергии для имитации набегания потока частиц на аппарат в верхних слоях атмосферы и генератор высокоэнтальпийных газовых потоков в лазерно-плазменном ракетном двигателе. Кроме того, создаваемый плазмой конвективный поток позволяет разрушать головные ударные волны при движении на больших скоростях [4-5]. Импульсно-периодический режим горения оптического разряда может применяться в таких источниках излучения для дальнейшего значительного повышения спектральной яркости.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Райзер Ю. П. // УФН. 1980. Т. 132, С. 549.
2. Horne S., Smith D., Besen M., Partlow M., Stolyarov D., Zhu H., Holber W. // Proc. SPIE, 2010, V. 7680, P. 76800L.

3. Рудой И.Г., Соловьев Н.Г., Сорока А.М., Шилов А.О., Якимов М.Ю. // Физика плазмы, 2015, т. 41, №10, с. 929-932.

4. Mugaro L. N., Raizer Yu. P. Laser-Induced Air Spike for Advanced Transatmospheric Vehicles. AIAA Paper 94-2451 (1994)

5. Зимаков В.П., Кедров А.Ю., Кузнецов В.А., Соловьев Н.Г., Шемакин А.Н., Якимов М.Ю. О возможности применения непрерывного оптического разряда для имитации факторов космического полета // Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине. Доклады IV Всероссийской конференции. Новосибирск, Россия, 22-25 марта 2011 г. (Новосибирск: издательство Нонпарель, 2011, 375 с.) с. 108-113. ISBN: 978-5-93089-034-1

### **Влияние гетерогенной неравновесной СВЧ плазмы на свойства поверхности полиимидных плёнок**

Пустынников М.В., Шилиев А.С.

Научные руководители – Борисов А.М., Жуков А.А.

МАИ, г. Москва

В настоящее время полиимидные (ПИ) пленки нашли широкое применение в конструкциях космических и летательных аппаратов, бортовой аппаратуре для изоляции бортовых проводов и кабелей, подложек для гибких печатных плат, тензодатчиков благодаря комплексу уникальных свойств – высокой химической и термостойкости, физико-механическим характеристикам, устойчивости к радиации [1]. В конструкциях ПИ-пленки применяют в сочетании с металлами или клеями, образующими на межфазной границе раздела адгезионное соединение, качество которого определяет функциональные и эксплуатационные характеристики устройств. В связи с химической инертностью ПИ-пленки задача улучшения адгезии к ПИ-пленкам является актуальной. Для модификации ПИ пленок применяют жидкостные или плазменные обработки, в качестве плазмы используют низкотемпературную плазму аргона, азота, кислорода или их смесей (например, воздуха), индуцированную ВЧ-разрядом частотой 13,56 МГц при низком вакууме в реакторе типа цилиндра Фарадея [2]. Особый интерес представляют исследования воздействия неравновесной СВЧ плазмы на свойства поверхности ПИ с применением плазмотрона низкотемпературной плазмы при атмосферных условиях, не нуждающимся в вакуумировании [3]. Объектом исследования в работе были образцы промышленной ПИ-пленки марки ПМ-1ЭУ. В качестве плазмообразующего газа использовалась смесь аргона и кислорода, при содержании кислорода не более 10%. Скорость обработки составляла не более 30 мм/с. Свойства поверхности ПИ-пленок - морфологию, смачиваемость и поверхностное натяжение исследовали с помощью ACM Solver P-47 Pro фирма NT-MDT, гониометрическим методом (установка типа УКВС) и с применением калиброванных тестовых жидкостей (Arcotest DIN 53364) соответственно. Качество поверхности оценивали методами оптической и электронной микроскопии.

В работе получены экспериментальные данные о влиянии гетерогенной неравновесной СВЧ плазмы на свойства поверхности ПИ-пленок. Можно

выделить следующие основные эффекты обработки плазмой: изотропное плазмохимическое травление полиимида в кислородосодержащей плазме приводит к уменьшению величины шероховатости от  $R_z = 5,8 \cdot 10^{-3}$  до  $R_z = 0,7 \cdot 10^{-3}$  мкм; краевого угла смачивания водой - от 60 до  $70^\circ$  и к увеличению поверхностного натяжения от 42 - 44 до 60 мН/м на обработанной поверхности. Это приводит к увеличению работы адгезии в 2 раза и в целом сопоставимо с опубликованными данными [4] о воздействии на ПИ-пленки низкотемпературной ВЧ-плазмы тлеющего разряда.

#### ЛИТЕРАТУРА:

Бессонов М.И., Котон М.М., Кудрявцев В.В., Лайлус Л.А. Полиимиды-класс термостойких полимеров. Л.:Наука, 1983.

Жукова С.А. Структурные эффекты плазмохимической обработки тонких полиимидных пленок и покрытий в технологии устройств микросистемной техники: Автореф. дис. канд. техн. наук. М.: МАТИ, 2004.

Гильман А.Б. Плазмохимическая модификация поверхности полимерных материалов // Школа по плазмохимии для молодых ученых России и стран СНГ / Ивановский государственный химико-технологический университет (г. Иваново) совместно с Институтом нефтехимического синтеза РАН (г. Москва). И., 1999. С. 1.

Расколец Е.С., Моисеев К.Н. Изучение и анализ микрорельефа полиимидных пленок // Студенческая научная весна 2010: Машиностроительные технологии / Московский государственный технический университет. М., 2010. С. 1

## **Технология герметизации корпусов электронных приборов лазерной сваркой**

Ширшов А.С.

Научный руководитель – Тихонов С.А.

МАИ, г. Москва

Современные электронные приборы сверхвысоких частот, применяемые в ракетно-космической отрасли, являются сложной и дорогостоящей аппаратурой, работающей в широком диапазоне температур от  $-50$  до  $+50$  °С в условиях космического вакуума, жесткого космического излучения и внешнего ударного воздействия различной интенсивности вибраций при сроке службы от нескольких часов до нескольких лет. Воздействие окружающей атмосферы на установленные внутри полости различные токоведущие цепи и печатные платы с электронными компонентами резко снижает работоспособность приборов данного класса, что требует создания газовой среды для эффективного функционирования электрорадиоизделия. Специфика герметизации корпусов таких приборов осуществляется процессом получения монолитного соединения посредством сварки.

Корпуса электронных приборов должны соответствовать ряду требований: высокая герметичность; высокие теплофизические свойства материала корпуса для обеспечения эффективного теплоотвода из внутренней полости прибора; ремонтпригодность.

Корпуса приборов изготавливаются из алюминиевых сплавов типа АМг, однако хорошие теплофизические свойства сплавов АМг не допускают

использования различных видов сварки применительно к процессу герметизации корпусов, т.к. происходит сильный нагрев корпуса, что может привести к выходу из строя электронной начинки прибора. Поэтому для получения качественного шва методом лазерной сварки мы используем на стыке частей корпуса промежуточную прослойку из композиции типа АМг6+АД1+ВТ1 шириной 3,5-4,5 мм и глубиной 6,5 -7 мм, что позволяет в случае необходимости производить разгерметизацию прибора для последующего ремонта до 3 раз.

Герметизацию приборов проводили на лазерной технологической установке LRS-300-PRO с системой орбитального вращения лазерного луча в автоматическом режиме.

На основании конструкторской документации (КД) на изделие и ОСТ 92-1741-90 (Сварка и сваркопайка лазерная импульсная. Типовой технологический процесс.) проведены математические расчеты режима импульсной лазерной сварки (длительность импульсов лазерного излучения  $\tau_{и} = 1,5$  мс, энергия импульса лазерного излучения  $W_{и} = 7,5$  Дж, частота следования импульсов  $f_{и} = 10$  Гц (скорость сварки  $V_{св} = 4,0$  мм/с), мощность лазерного излучения  $P = 5$  кВт). Рассчитанные параметры лазерной сварки позволили оптимизировать постановочные эксперименты по выбору оптимального режима лазерной герметизации корпуса прибора.

Контроль на соответствие параметров сварного шва конструкторской документации осуществлялся с помощью рентгенографии.

Проверку на герметичность прибора проводили методом “щупа” с применением масс-спектрометрических гелиевых течеискателей.

Для получения в зоне стыка частей корпуса качественного сварного соединения, соответствующего требованиям и условиям конструкторской документации, в технологическом процессе герметизации рекомендуется использовать следующие параметры импульсной лазерной сварки: длительность импульса  $\tau_{и} = 1,5 - 2,0$  мс; энергия импульса лазерного излучения  $W_{и} = 6-9$  Дж; частота следования импульсов  $f_{и} = 10$  Гц.

Лазерная сварка с импульсно-периодическим режимом генерации наиболее приоритетна в технологических процессах, требующих минимального тепловложения, высокой концентрации обработки, малой глубины проплавления и отсутствия негативного влияния электромагнитных полей и рентгеновского излучения.

## **СЕКЦИЯ № 22. Технология производства двигателей и агрегатов летательных аппаратов**

Руководитель секции: д.т.н., доцент Бойцов А.Г.

---

### **Влияние технологических режимов электроискрового легирования на качество жаростойкого покрытия деталей ГТД**

Баженова А.В.

Научный руководитель – Денисов Л.В.

МАИ, г. Москва

В современном авиа- и ракетостроении одним из актуальных вопросов является увеличение ресурса теплонапряженных деталей турбины и защита их от газовой коррозии.

Высокотемпературное воздействие газового потока с продуктами сгорания на детали горячего тракта может приводить к их интенсивному окислению. В дальнейшем может происходить частичная потеря материала вследствие отслаивания окисных пленок.

Одним из методов защиты от газовой коррозии является нанесение жаростойких покрытий. В настоящее время применяются такие методы нанесения покрытий, как PVD (дуговое, электроннолучевое испарение с последующей конденсацией), плазменное, сверхзвуковое газопламенное напыление и другие.

В настоящей работе приводятся результаты исследований влияния технологических режимов электроискрового легирования на качество формируемых жаростойких покрытий для защиты лопаток турбины из сплава ЖС6У.

Для нанесения покрытий применялись электроды из сплава СДП-2 (NiCrAlY). Так же проводились исследования по нанесению многослойных (многокомпонентных) покрытий из материалов W, Cr, (Co, Ni), Al. Электроискровое легирование производилось на оборудовании ELFA-731 в широком диапазоне режимов и условий обработки: ток короткого замыкания 1...16 (А); длительность импульса 1...20 (мкс); частота импульсов 2...66 (кГц), дополнительная ёмкость разрядного конденсатора  $C = 0,1 \dots 1,0$  (мкф).

Результаты исследования показали, что при использовании импульсов со сравнительно высокой энергией материал электродов ложится неравномерно, структура покрытия принимает пористое строение, на поверхности образуются бугры и прожиги. При средних и минимальных энергиях импульсов покрытие ложится гораздо равномернее, сплошность такого покрытия выше.

Низкая шероховатость ( $Ra = 0,8 \dots 1,2$  мкм) и оптимальная сплошность покрытия на средних и минимальных энергиях импульсов обеспечили равномерное нанесение материала как из сплава СДП-2, так и формирование многослойного покрытия из материалов электродов W, Cr, (Co, Ni), Al.

Список литературы:

Процессы механической и физико-химической обработки в производстве авиационных двигателей. Учебное пособие. Бойцов А.Г., Ковалев А.П., Новиков А.С. и др. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.- 584 с.

Бойцов А.Г., Денисов Л.В. Нанесение многослойных и многокомпонентных покрытий на детали из титановых сплавов электроискровым легированием. Научные труды (Вестник МАТИ). Вып. 20 (92).-М.:МАТИ, 2013.-328с.: ил. с 158-162.

## **Исследование работоспособности пар трения механизмов с применением твёрдосмазочных покрытий для различных условий функционирования**

Винокуров Д.А.

Научный руководитель – Хопин П.Н.

МАИ, г. Москва

Твердосмазочные покрытия (ТСП) применяются в условиях высокого и сверхвысокого вакуума, радиации, теплового излучения, в узлах трения, работающих при экстремальных нагрузках, соизмеримых с пределами текучести металлов, при малых скоростях скольжения, недостаточных для образования смазочного гидродинамического клина при трении с использованием в качестве смазки минеральных и синтетических масел, а также в широком диапазоне рабочих температур, как отрицательных, так и положительных.

ТСП применяются в машиностроении на штоках клапанов, поршнях, кулачковых валиках и т. д., в металлообрабатывающей промышленности на поверхности штампов, судостроении на паросиловых установках, в механизмах дизелей, в авиастроении в червячных приводах, пневматических цилиндрах, регулирующих клапанах, вращающихся уплотнителях и т. д.

Следует отметить, что обеспечение нормальной работы пар трения в условиях вакуума является весьма актуальной задачей. Это относится, в первую очередь, к подбору смазок.

В условиях космического вакуума применяются ТСП, из которых широко используются ТСП на основе  $MoS_2$  для шарнирных сопряжений и других механизмов. Их применение в точных приборах ограничено в первую очередь из-за того, что толщина наносимого слоя относительно велика, тем самым значительно искажается характер сопряжения в паре. Кроме того, ТСП не восстанавливаемо, поэтому целесообразно его применение в парах с ограниченным ресурсом.

Пример применения ТСП в механизме, функционирующем в вакууме (Самойлов Г.С., Крыськов С.Л., Морозов Н.В. и др. Детали механизмов и узлов летательных аппаратов. Уч. пособие. МАИ, 2005, 96с.) – ограничитель скорости. Он устанавливается в механизме раскрытия антенны. Её раскрытие происходит один раз, поэтому в качестве движителя применена пружина. Но ввиду значительной инерционности антенны и недопустимости ударного воздействия на аппарат потребовалось применить ограничитель скорости ее раскрытия.

Во время работы возникают значительные контактные нагрузки, поэтому контактирующие поверхности покрывают ТСП, что обеспечивает отсутствие задира и гарантирует надежную работу механизма.

При оценке работоспособности данного механизма для пары трения с ТСП ВНИИ НП 212 были получены оценочные результаты по долговечности, коэффициенту трения и температуре трения.

ТСП также применяют в разъемных соединениях в условиях нормальной атмосферы, например, ушковых узлах вертолёта.

При оценке работоспособности данного ушкового соединения для пары трения с ТСП ВНИИ НП 212 были получены оценочные результаты по долговечности, коэффициенту трения и температуре трения.

### **Исследование применимости алмазного выглаживания для повышения качества поверхностного слоя пары трения шток-втулка узла сильфона**

Вороничева И.А.

Научный руководитель – Мартынюк А.В.

МАИ, г. Москва

Объект, рассматриваемый в работе – сильфонный узел, узел управления заслонкой клапана. Особое внимание уделяется паре шток-втулка, втулка тонкостенная и маложесткая, толщина стенки втулки 1,5мм. Изготавливается узел из нержавеющей, коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т.

В процессе эксплуатации под действием нагрузки происходит поступательное движение штока, при этом пара трения шток-втулка работает без смазки. За счет сухого трения происходит износ узла, что приводит к нестабильной работе или заклиниванию и выходу из строя узла. Исходя из этого, можно выделить одно из направлений обеспечения качества механизма – повышение износостойкости втулки. Этот показатель определяется, в первую очередь, параметрами качества поверхностного слоя.

Одним из способов повышения износостойкости узла является алмазное выглаживание (АВ) поверхностей. АВ представляет собой процесс пластического деформирования исходного микропрофиля под действием усилия, приложенного к алмазу. Специфические свойства инструментального материала при АВ обеспечивают высокую твердость, малый коэффициент трения при работе по металлической поверхности, значительную износостойкость, хорошую теплопроводность и термостойкость. Использование в качестве деформирующего элемента алмаза с радиусом закругления 0,5-3 мм требует малых усилий деформирования, в связи с чем выглаживанием можно обрабатывать детали с небольшой толщиной стенок (от 0,5 мм), то есть АВ применимо и к рассматриваемой тонкостенной втулке.

Несущая способность контактных поверхностей пары шток-втулка во многом зависит от их геометрических характеристик, таких как шероховатость, микрорельеф и поверхностная твердость материала.

Алмазное выглаживание, основанное на деформационном упрочнении, обладает большими технологическими возможностями в управлении качеством поверхностного слоя, чем лезвийное и абразивное резание. Применение АВ для окончательной обработки трущихся поверхностей пары шток-втулка является эффективным средством, позволяющим повысить износостойкость и получить

благоприятный микрорельеф поверхности обладающей невысокой истирающей способностью.

Работа посвящена поиску оптимальных режимов выглаживания с точки зрения обеспечения заданного микрорельефа и микротвердости поверхности. Необходимо учесть малую толщину обрабатываемой детали, сравнимую с размерами очага пластической деформации, что может привести к сквозной пластической деформации и, как следствие, искажению формы тонкостенной детали. Были проведены исследования влияния режимов АВ (радиус индентора, нормальная сила, подача) на форму очага деформации, полученную с помощью профилографирования поверхности, а также микротвердость и шероховатость выглаженной поверхности. Это позволяет с одной стороны добиться повышения микротвердости и регулярного микрорельефа, с другой стороны – не допустить перенаклепа поверхностного слоя, а также искажения формы детали вследствие сквозной пластической деформации. По результатам проведенных исследований даны технологические рекомендации по режимам АВ.

### **Повышение корректности расчёта погрешности установки заготовки в спутнике**

Горбатенков Г.Ю., Пышечкин Н.А.

Научный руководитель – Аббясов В.М.

МГМУ (МАМИ), г. Москва

При изготовлении любой детали основным требованием является обеспечение заданной точности. Под точностью следует понимать степень соответствия параметров изготовленной детали данным чертежа или ее прототипу. Известно, что на конечную точность влияет большое количество погрешностей, одной из которых является погрешность установки заготовки, состоящая из погрешностей базирования, закрепления и приспособления.

Погрешность базирования представляет собой разность между наибольшим и наименьшим расстояниями от измерительной поверхности до режущей кромки инструмента, установленного на размер.

Определенные сложности возникают при изготовлении деталей сложной формы. Поэтому на практике часто применяются нестандартные методы установки заготовок.

Схемы установки заготовок в спутниках автоматических линий соответствуют конфигурации заготовок и задачам обработки. Обычно корпус (платформа) спутника нижней плоскостью опирается на направляющие автоматической линии. На его верхней плоскости размещаются базовые элементы для заготовки: опорные пластины, установочные пальцы, призмы, выточки, выступы и т.п. Корпусу спутника иногда придается форма треугольника для расположения базовых элементов на вертикальной плоскости. В некоторых случаях базовые элементы для детали располагаются под углом к опорной плоскости платформы.

Установка деталей в спутниках возможна по их черным необрабатываемым поверхностям, или по обработанным вне линии поверхностям. Иногда в дополнение к основной обработанной базе, для размещения дополнительных базовых точек, используются участки необработанных поверхностей.

Использование черных поверхностей в ряде случаев упрощает выбор баз и способствует снижению трудоемкости обработки. Вместе с тем, такое базирование может привести к увеличению припусков на обработку и вызвать затруднения при решении точностных задач, особенно в области пространственного расположения поверхностей.

Для уменьшения погрешности установки заготовки сложной конфигурации в спутнике предлагается использовать схему базирования по трем цилиндрическим поверхностям по системе необработанных поверхностей. Установочными элементами в этом случае являются две неподвижные призмы и одна плавающая призма, а также дополнительный откидной упор, в совокупности лишшающие заготовку шести степеней свободы.

Расчет, проведенный с учетом фактических отклонений, выявленных при исследовании, показал, что при предложенной схеме базирования погрешность установки снижается на 10% по сравнению с существующей.

Литература

1. Под ред. проф. Дальского А.М. Технология машиностроения, 1 том, изд-во МГТУ им. Н.Э Баумана. 1999. – 564 с.
2. Кувалдин Ю.И., Перевощиков В.Д. Базирование заготовок при обработке на металлорежущих станках, Киров 2009. – 231с.
3. Соловьева Н.И. Анализ схем базирования при изготовлении деталей сложной формы. «Студенческая научная весна 2011: Машиностроительные технологии».

### **Анализ технологии изготовления упругих элементов**

Грачев М.В.

Научный руководитель – Бойцов А.Г.

МАИ, г. Москва

Качество упругого элемента во многом определяется технологическим процессом. Режимы некоторых технологических операций, таких, например, как механическая или термическая обработка упругого элемента, оказывают прямое влияние на упругие и прочностные свойства материала, а, следовательно, и на рабочие характеристики упругого элемента.

Технология изготовления упругих элементов разнообразна и определяется конструкцией, назначением, материалом упругого элемента, техническими требованиями, предъявляемыми к его основным рабочим характеристикам. Часто только повышение требования к точности и надежности упругого элемента ведет к существенной перестройке технологического процесса.

Упругие элементы изготавливают из полуфабриката (листового материала, тонкостенных трубок, проволоки или лент), который должен иметь надлежащие механические свойства и достаточно точно выдержанные размеры для обеспечения требуемого качества упругих элементов. Трудоемкость технологического процесса обычно определяется не столько трудностями изготовления упругого элемента из заготовки, сколько сложностью получения самой заготовки. Например, получение тонкостенных трубок с малыми допусками на толщину стенки более трудоемко, чем последующее изготовление

из них чувствительных элементов – сифонов или манометрических трубчатых пружин.

Процесс изготовления пружин можно разделить на два основных этапа:

- образование формы упругого элемента и
- придание ему необходимых рабочих свойств.

Требуемая геометрическая форма упругого элемента создается штамповкой, вытяжкой, гибкой, навивкой. При проектировании инструмента для формообразования упругих элементов из материалов, которые сильно нагартовываются, следует учитывать упругую отдачу материала.

Термообработка упругих элементов производится в вакуумных печах или в печах с защитной атмосферой во избежание окисления и появления окалины; для предотвращения коробления тонкостенных элементов их закрепляют в специальных прокладках.

Ответственной операцией процесса изготовления является соединение деталей упругого элемента друг с другом или с арматурой с помощью сварки или пайки. Сварка или пайка не должны искажать форму упругого элемента и снижать его свойства. Здесь непригодны такие способы сварки или пайки, которые связаны с длительным нагревом материала до температур структурных превращений. Заключительным этапом изготовления упругого элемента является его стабилизация, которая заключается в пульсационном нагружении или в длительной выдержке упругого элемента под статической нагрузкой, на 10–20% превышающей максимальную рабочую.

## **Исследование проблемы попадания посторонних предметов в тракт двигателя с поверхности аэродрома**

Дзгоев Т.Р.

Научный руководитель – Силуянова М.В.

МАИ, г. Москва

Проблема повреждения рабочих лопаток компрессоров твердыми посторонними предметами, попадающими в воздушный тракт, возникла одновременно с появлением в гражданской авиации самолетов с газотурбинными двигателями (ГТД). Решение проблемы повреждения двигателей твердыми посторонними предметами позволяет повысить безопасность и регулярность полетов гражданских самолетов. В общем случае под твердыми посторонними предметами понимаются твердые неорганические частицы в виде частиц битума, бетона, гранитного гравия, которые вследствие разрушения слабых мест аэродромного покрытия, появляются на поверхности взлетно-посадочных полос (ВПП) и рулежных дорожек (РД). Также особое место в данной проблеме занимают наши пернатые друзья. Птицы могут нанести огромный ущерб при попадании в ГТД. Попадание твердых посторонних предметов в двигатель приводит к повреждениям элементов проточного тракта.

Повреждения рабочих лопаток компрессора авиационных двигателей приводят к вынужденным простоям самолетов из-за дефицита двигателей и требуют больших дополнительных материальных затрат на ремонт двигателей, не выработавших установленный ресурс. Так, восстановление на авиаремонтном

заводе двигателя, поврежденного посторонними предметами, обходится авиакомпания в сумму порядка 150-200 тысяч долларов. К примеру, ежегодные затраты в ОАО "Аэрофлот", связанные с повреждением двигателей Д-30КУ-154 посторонними предметами, составляют четверть миллиона долларов США. Попадание в ГТД посторонних предметов влияет не только на нарушение регулярности полетов и простои воздушного судна(ВС), на большие материальные затраты, направленные на восстановление двигателей, но и на безопасность полетов самих ВС.

Известны случаи, когда попадание в двигатель посторонних предметов является причиной летных происшествий. Так, на штурмовике "А-10" из-за попадания: посторонних предметов в 1981 году отмечено 6 летных происшествий класса "В" (ущерб при таком летном происшествии составляет 50...200 тысяч долларов США). Всего с начала эксплуатации данных самолетов, парк которых составлял порядка 600 штук, отмечено 48 летных происшествий из-за попадания посторонних предметов. В 1960 году произошло крушение самолёта LockheedL-188 Electraамериканской компании EasternAirLinesиз-за столкновения с птицами при взлёте. Из 72-х человек, бывших на борту погибли 62.

Причины попадания посторонних предметов в двигатели различны. Это и вихревое течение под воздухозаборником, и вылет частиц из-под колес шасси, и заброс частиц реверсивной струей. Недостаточная изученность причин и условий попаданий посторонних предметов в ГТД препятствует созданию эффективных конструктивных и эксплуатационных мероприятий по предотвращению досрочного съема двигателей (ДСД) из эксплуатации из-за попадания посторонних предметов.

Для решения данной проблемы осуществляются следующие мероприятия: очистка ВПП, РД и мест стоянок ВС, совершенствование методов строительства и эксплуатации аэродромных покрытий, рациональная компоновка ВС и силовой установки, применяют ударостойкие лопатки компрессора, роторные системы защиты, заградительные решетки и т.д.

Данные методы борьбы позволяют защитить самолёт от попадания твёрдых предметов в ГТД, снижают процент ДСД и улучшат безопасность полётов ВС.

### **Численное моделирование проектировочного расчёта безлабиринтной системы подвода охлаждающего воздуха к рабочим лопаткам турбины**

Дикова Д.А.

Научные руководители – Силуянова М.В., Стародумова И.М.

МАИ, АО «НПЦ газотурбостроения «Салют», г. Москва

Повышение температуры газа перед турбиной является одним из условий создания перспективных газотурбинных двигателей. Увеличение температуры опережает возможности жаропрочных сплавов, поэтому реализация этих температур осуществляется путем создания эффективных систем охлаждения элементов газовых турбин.

Одним из основных способов совершенствования системы охлаждения является организация и изыскание рациональных способов подачи воздуха от

элементов статора в лопатки. Передача воздуха от элементов статора к ротору турбины, осуществляется за счет применения аппарата спутной закрутки и напорного кольца, размещенного на внутренней части статора турбины.

Диаметр кольцевого соплового устройства аппарата закрутки для подвода охладителя к диску турбины высокого давления (ТВД) и угол  $\alpha_1$  сопел аппарата закрутки выбраны таким образом, чтобы относительная скорость входа охлаждающего воздуха в диск ТВД была минимальной. Этим обеспечивается минимальная температура торможения охладителя в относительном движении на входе в участок центробежной подкачки при минимальных в этих условиях потерях давления охладителя в процессе торможения вектора относительной скорости воздуха.

Следует отметить, что охлаждающий воздух подаётся к диску турбины предварительно «закрученным» в сторону вращения диска в аппарате закрутки. Аппарат закрутки в системе охлаждения турбины выполняет функции «дозировочного» устройства, обеспечивающего требуемые расходы в рабочую лопатку. Пропускная способность через рабочую лопатку турбины определяется суммарным расходом воздуха через аппарат закрутки. Аппарат закрутки располагается на определенном радиусе в зазоре между сопловым аппаратом и рабочим колесом турбины по направлению вращения диска турбины с целью обеспечения минимальной величины относительной скорости при входе воздуха в крепление напорного кольца к диску турбины.

Напорное кольцо обеспечивает передачу охлаждающего воздуха из статора в ротор с минимальными утечками и обеспечением требуемого давления охлаждающего воздуха на входе в рабочие лопатки. Напорное кольцо установлено на диске ТВД и центруется относительно его посредством радиальных штифтов. Между кольцом и диском на посадочном месте имеется радиальный зазор, который позволяет кольцу перемещаться относительно диска, не подгружая его на режимах работы.

Особенность данной системы охлаждения турбины заключается в том, что тракт подачи охлаждающего воздуха к рабочим лопаткам турбины выполнен без лабиринтных уплотнений в зоне высоких окружных скоростей между статором и ротором турбины, поэтому давление за аппаратом закрутки подачи охладителя к рабочей лопатке турбины практически равно давлению в зазоре между сопловым аппаратом и рабочим колесом ТВД.

Целью работы является проектирование безлабиринтной системы подвода охлаждающего воздуха к рабочим лопаткам турбины, что позволяет упростить конструкцию и повысить надежность работы узла турбины за счет исключения из конструкции высокоскоростных воздушных лабиринтных уплотнений между статором и ротором ТВД.

Методика проектировочного расчета основывается на эмпирических зависимостях, полученных на основании экспериментальных данных по исследованию различных видов подвода охлаждающего воздуха к рабочим лопаткам турбины, в данном случае оценивается коэффициент потерь в безлопаточном диффузоре.

Результатом проектировочного расчета является необходимый объем характеристик схемы подачи воздуха, позволяющий производить подбор системы транспортировки воздуха применительно к любой газовой турбине.

## **Оптимизация конструкции турбины двухконтурного турбореактивного двигателя с целью повышения долговечности межроторного подшипника**

Золотухин А.А.

Научный руководитель – Силуянова М.В.

МАИ, г. Москва

Оптимизация и модернизация существующих двигателей является одним из важнейших факторов на пути совершенствования конструкции авиационных двигателей. Оптимизация современных двигателей, находящихся в эксплуатации, позволяет избавляться от дефектов, возникающих только в процессе их непосредственного применения. Решение проблем с дефектами, возникающими в процессе эксплуатации современных двигателей, позволяет повысить надежность существующего парка двигателей и не допустить данные дефекты в последующих разрабатываемых двигателях.

В современных газотурбинных двигателях (ГТД) применяют, несмотря на некоторые недостатки (большие радиальные размеры и большую массу), исключительно подшипники качения, обладающие, по сравнению с подшипниками скольжения, рядом преимуществ, таких как: способность работать при больших частотах вращения, малыми размерами по ширине, значительно меньшими коэффициентами трения. Последнее, дополнительно определяет возможность существенного снижения количества смазочного масла для охлаждения подшипника. В опорах компрессоров и турбин применяются преимущественно шариковые и роликовые подшипники с точеными неразъемными сепараторами, разделяющими шарики и ролики по окружности, что исключает трение непосредственно между ними.

В конструкции современных авиационных ГТД применяются силовые схемы с опорой ротора высокого давления (РВД) на ротор низкого давления (РНД) через межроторный подшипник (МРП). Указанная компоновка задних опор двухвальных и трехвальных двигателей (в части установки межроторного подшипника) в практике авиационного двигателестроения применяется давно. Размещение подшипника ротора высокого давления непосредственно на валу ротора низкого давления обусловлено стремлением к сокращению размеров обоих роторов двигателя в осевом направлении, что благоприятствует снижению массы элементов двигателя в целом, и повышению изгибной жесткости роторов, а значит и их вибрационных характеристик.

Однако, часто подшипники, применяемые в таких опорах, оказываются критическим элементом, существенно ограничивающим ресурс всего ГТД и снижающим его надёжность.

Повышение надёжности и ресурса современных авиационных двигателей является одной из актуальных задач современного двигателестроения.

Одним из представителей современного двигателестроения, имеющего в своей конструкции опору с межроторным подшипником, является двигатель АЛ-31Ф. Его модернизация и оптимизация во многом будет определять облик более современных двигателей следующего поколения, применяемых уже на современных самолетах, таких как Т-50 ПАКФА.

Целью работы было повысить долговечность межроторного подшипника путем оптимизации конструкции турбины ТРДДФ. Проанализировав опыт существующих решений в конструкции с межроторным подшипником, а так же факторы, полученные в результате работы, была предложена компоновка, способствующая повышению долговечности межроторного подшипника. Для анализа долговечности были проведены расчеты долговечности межроторных подшипников старой и новой конструкции. В результате чего было установлено, что долговечность межроторного подшипника новой конструкции была увеличена по сравнению со старой конструкцией, при этом претерпев не значительные конструктивные изменения.

Повышение долговечности, а как следствие и ресурса, является для подшипников одной из основных задач. Наряду с ней для подшипников и авиационных двигателей в целом ставятся еще более амбициозные задачи такие как: снижения расхода масла, что позволит увеличить время работы самолета при отрицательных и нулевых перегрузках; уменьшение массогабаритных параметров силовой установки, за счет уменьшения мощности и габаритов масляных насосов; увеличение экологичности и продолжительности полета за счет снижения безвозвратных потерь масла; переход к более новым и современных материалам способным работать даже в условиях отсутствия смазки, и т.д. Все это в будущем поможет совершенствовать современные двигатели, повышать их надежность и ресурс.

### **Электроннолучевая сварка в производстве ГТД**

Казанцев А.С.

Научный руководитель – Курицын Д.Н.

МАИ, г. Москва

Среди методов сварки, используемых в производстве ГТД, электроннолучевая сварка (ЭЛС) занимает одно из ведущих мест. В настоящее время доля применения ЭЛС составляет 20%...30% от общего объема сварочных работ в авиационном двигателестроении.

Сущность процесса электронно-лучевой сварки состоит в использовании кинетической энергии потока электронов, движущихся с высокими скоростями в вакууме. Для уменьшения потери кинетической энергии электронов за счёт соударения с молекулами газов воздуха, а также для химической и тепловой защиты катода в электронной пушке создают вакуум порядка  $10^{-4}$ - $10^{-6}$  мм рт. ст. Электронный луч – электронный пучок – поток электронов, движущихся по близким траекториям в одном направлении, имеющий размеры, значительно большие в направлении движения, чем в поперечной плоскости. Электронная пушка – устройство, с помощью которого получают пучок электронов с заданной кинетической энергией и заданной конфигурации [1].

Удельная мощность является одним из главных параметров электронного пучка и может составлять от  $10^7$  до  $10^{12}$  Вт/м<sup>2</sup>. При испарении вещества электронным пучком в непрерывном режиме используется удельная мощность около  $10^7$ - $10^9$  Вт/м<sup>2</sup>. Распределение плотности тока в сечении электронного луча, подчиняется закону Гаусса:

$$j_e = j_{max} e^{-r_n^2/r_n^2}$$

где  $r_{л}$  - текущий радиус электронного луча;  $r_{н}$  - нормальный радиус электронного луча (соответствующий плотности тока  $j_{max}/e$ , здесь  $e=2,71$ ;  $j_{max}$  – максимальная плотность тока электронного луча).

Электронно-лучевая сварка применяется при изготовлении узлов газотурбинных двигателей из легированных сталей, титановых и никелевых том числе, для сварки деталей кольцевыми швами 50...2300 мм и продольными швами до 2000 мм. Толщина свариваемых деталей достигает 60 мм и более. Её применение позволяет снизить трудоёмкость изготовления узлов. К типичным узлам, изготавливаемым с использованием ЭЛС, относятся роторы компрессора, диски, валы, рычаги, трубы, корпуса.

Электронно-лучевая сварка является наиболее перспективным способом изделий из тугоплавких и химически активных металлов; изделий из термически упрочнённых материалов, когда нежелательна, затруднена или не возможна термообработка; изделий после завершающей механической обработки при необходимости обеспечения минимальных сварочных деформаций; ряда толстостенных и толстостенных конструкций ответственного назначения.

Перспективным направлением в области инструментального обеспечения высокотехнологичных производств является возможность сварки тугоплавких металлов (тантала, вольфрама и др.), керамики и т.д. Данный метод позволяет формировать конструкции сложного составного инструмента для высокоскоростной механической обработки и сварки трением с перемешиванием с высокотвердыми жаростойкими рабочими частями [2].

Список литературы

1. Технологии и оборудование электронно-лучевой сварки – 2008 Материалы Первой Санкт-Петербургской международной научно-технической конференции. – СПб.: ООО «Агентство “ВиТ-Принт”», 2008. – 210 с.

2. Бойцов А.Г., Качко В.В., Курицын Д.Н. Высокоскоростная сварка трением перемешиванием авиационных материалов и конструкций: Металлообработка. 2013. № 5-6 (77-78). С. 35-42.

## **Влияние вектора вертикальной составляющей силы резания на точность и шероховатость обработки при встречном фрезеровании**

Кобзев Е.А.

Научный руководитель – Прокофьев Е.Ю.

МАИ, Ступинский филиал

При встречном фрезеровании для повышения точности и снижения шероховатости обрабатываемой поверхности можно изменять направление вертикальной составляющей силы резания.

При фрезеровании плоскости вертикальная составляющая силы резания может быть направлена как вверх, так и вниз. Её направление зависит от соотношения глубины резания и диаметра фрезы. Этот вывод подтверждается простым геометрическим расчетом, в результате которого может быть найдена глубина резания, при которой вертикальная составляющая сила равна нулю, или направлена вверх или вниз.

Кроме того, данные расчеты были подтверждены проведенными экспериментами на различных режимах фрезерования. При этом наблюдалась хорошая сходимость расчетных и экспериментальных данных. Исследовалась зависимость вертикальной и горизонтальной составляющих сил от глубины резания, которая изменялась от 0,5 до 0,6 мм. Фрезерование проводилось на специализированном фрезерном станке модели СФ 676 концевой фрезой из быстрорежущей стали Р9М4 диаметром 35 мм с числом зубьев 6 и углом наклона стружечных канавок 30°. Обрабатываемый материал - конструкционная сталь средней прочности 38ХА (HRC=27-34). Силы резания измерялись универсальным динамометром УДМ 600.

Эксперименты показали, что с увеличением глубины резания горизонтальная составляющая сила возрастает, а вертикальная составляющая сначала возрастает и направлена вниз, затем снижается до нуля, изменяет направление на противоположное и снова возрастает.

Данное обстоятельство влияет на точность и шероховатость обработки. При глубине резания 5,5-6 мм, когда сила, действующая со стороны фрезы на заготовку направлена вверх, действительная глубина резания на 0,05-0,15 мм больше установленной по нониусу станка.

Согласно третьему закону механики, вертикальная составляющая сила, действующая со стороны заготовки на фрезу, направлена вниз. Вследствие упругих деформаций фреза затягивается в заготовку и снимает больший припуск.

Также наблюдается увеличение шероховатости обработанной поверхности с 1,6 мкм до 3,2 мкм и более, т.к. вертикальная составляющая сила, действующая со стороны фрезы на заготовку, стремится оторвать ее от стола, в результате чего увеличиваются зазоры между столом станка и станиной, усиливаются вибрации.

Следовательно, для обеспечения заданной точности и шероховатости обработки необходимо назначать глубину резания с учетом диаметра фрезы таким образом, чтобы вертикальная составляющая силы резания была направлена вниз и прижимала заготовку к столу станка.

## **Стартовый твердотопливный двигатель увода ракеты-носителя среднего класса**

Коннов В.В.

Научный руководитель – Силуянова М.В.

МАИ, г. Москва

В настоящее время ракетно-космическая отрасль является приоритетным направлением развития страны. В процессе проектирования ракетной техники ведется долгая подготовительная и трудоемкая работа, которая включает себя следующие этапы: конструирование, проектирование, разработка мер по обеспечению безопасности и требований эксплуатации, изготовление изделия. Также рассматриваются возможные нештатные ситуации при запуске, устраняются возможные неисправности. Несмотря на довольно кропотливую работу, нередки случаи аварийных ситуаций.

Анализ аварийных ситуаций является отправной точкой всех работ по безопасности, а его результаты во многом определяют последующие технические решения при разработке аварийно-восстановительных и аварийно-спасательных средств. Среди аварийных ситуаций следует выделить ситуации, вызванные отказами бортовых систем, а также наземных стартовых систем.

Стартовый твердотопливный двигатель увода для ракеты-носителя среднего класса (СТДУ РН СК) предназначен для увода, за счет создания тяговых и управляющих усилий, аварийного РН от стартового комплекса в случае нештатной ситуации и создания требуемых тяговых усилий на начальном участке полета.

СТДУ предназначен для обеспечения:

- достаточной тяговооруженности и управляемости ракеты-носителя в случае отказа центрального блока для увода целевого объекта от стартовых сооружений в заданный район падения;
- дополнительной тяги при штатной работе основного двигателя на участке полета первой ступени РН.

В результате проектных проработок СТДУ, исходя из технического задания на РН СК, возможностей существующей производственной, технологической, испытательной и сырьевой баз, определяется предварительный облик стартового твердотопливного двигателя увода.

СТДУ РН СК представляет собой твердотопливную двигательную установку, состоящую из заряда смесового твердого ракетного топлива в корпусе, выполненном в виде кокона. Корпус изготовлен из органопластика методом намотки. К заднему закладному фланцу корпуса пристыковывается поворотное управляющее сопло с органами управления вектором тяги. К заднему стыковочному узлу корпуса СТДУ пристыковывается хвостовой отсек, в свободном объеме которого komponуются агрегаты рулевого привода. В полости переднего днища СТДУ, защищенного носовым обтекателем, располагают воспламенительное устройство.

В конструкцию СТДУ заложены отработанные на многочисленных изделиях технические решения и технологии, подтвердившие высокую надежность и безопасность предлагаемых решений с обеспечением высокого уровня энергомассовых показателей. Вероятность безотказной работы двигательной установки в целом оценивается  $v=0,9997$ .

### **Локальное карбоксицирование рабочей поверхности гидроцилиндров из титановых сплавов**

Корешков А.В.

Научный руководитель – Бойцов А.Г.

МАИ, г. Москва

В современных авиационных двигателях широко применяются различные по конструкции и типоразмерам гидроцилиндры, обеспечивающие управление створками сопла, статорными поворотными лопатками и др. Они изготавливаются из титановых сплавов и во многих случаях их ресурс значительно ниже ресурса самого двигателя в силу следующих причин. Шток гидроцилиндра испытывает осевые, радиальные усилия, вибрационные нагрузки

вызывающие фреттинг-износ. Возможны деформации фторопластовых и резиновых уплотнений, что служит причиной контакта штока с рабочей поверхностью цилиндра. Эти явления приводят к износу и разрушению поверхности зеркала цилиндра при эксплуатации.

По базовой технологии финишными операциями обработки зеркала цилиндров являются доводка и виброгалтовка стальными шариками в среде дисульфида молибдена. Шероховатость поверхности, при этом, не должна превышать значения  $Ra = 0,2$  мкм. Такая обработка не обеспечивает необходимого ресурса цилиндров. Попытки использования различных методов нанесения износостойких покрытий на зеркало цилиндра не дают положительного эффекта (гальванические и газотермические покрытия не обеспечивают прочность сцепления с подложкой, а ионно-плазменные покрытия и химико-термическая обработка вследствие высоких температур вызывают коробление цилиндров).

Предлагаемый способ получения защитного покрытия – локальное карбооксидирование (ЛКО) обладает рядом преимуществ, среди вышеупомянутых технологий поверхностного упрочнения. Локальность нанесения покрытия, возможность «сканирующего» перемещения инструмента по обрабатываемой поверхности максимально упрощают подготовительные операции. Формирование слоя происходит в условиях высокоскоростного плавления и охлаждения, деформирования его термическими напряжениями и газодинамическими давлениями от электрического разряда. В результате образуется мелкодисперсная структура, сложного состава, толщиной  $3 \dots 10$  мкм. Слой содержит карбиды и оксиды титана, образующиеся в результате воздействия на обрабатываемую поверхность импульсных электрических разрядов малой энергии.

ЛКО выполнялось на установке ELFA731 с ЧПУ по управляющей программе, обеспечивающей равномерное упрочнение зеркала цилиндра. В качестве материалов углеродосодержащих электродов использовался пористый графит, пирографит и углеродное волокно.

При ЛКО на титановых сплавах были получены мелкодисперсные износостойкие слои с высокими твердостью и антифрикционными свойствами.

Для обеспечения требуемой шероховатости, повышения усталостной прочности и дополнительного упрочнения, внутренние полости цилиндра после ЛКО подвергались алмазному выглаживанию, что позволило снизить шероховатость поверхности с  $Ra = 0,32 \dots 0,63$  мкм до  $Ra = 0,1-0,25$  мкм.

Таким образом, ЛКО позволяет на порядок повысить ресурс узла, без внесения каких-либо конструктивных изменений в геометрию детали. Последующее выглаживание окончательно формирует рабочую поверхность гидроцилиндра с требуемыми качественными характеристиками и микрогеометрией.

## **Разработка технологии сборки узла турбины боевого маршевого газотурбинного двигателя**

Корнев Ю.О.

Научный руководитель – Бойцов А.Г.

МАИ, г. Москва

В качестве объекта сборки выбран узел турбины авиационного газотурбинного двигателя АЛ-31Ф. АЛ-31Ф – двухконтурный двухвальный маршевый газотурбинный двигатель со смещением потоков за турбиной. Конструктивно двигатель состоит из четырехступенчатого компрессора низкого давления, девятиступенчатого компрессора высокого давления, кольцевой прамоточной камеры сгорания, одноступенчатой осевой турбины высокого давления, одноступенчатой осевой турбины низкого давления, форсажной камеры сгорания, регулируемого реактивного сопла.

В данной работе рассмотрены факторы, влияющие на снижение геометрической точности, повышения трудоемкости и снижения технической надежности как отдельных элементов и сборочных единиц конструкции турбины, так и всего узла турбины в целом данного маршевого ТРДД при выполнении сборочных операции, а также даются рекомендации и методы по исключению или снижению влияния выше указанных факторов.

В частности рассмотрены вопросы грамотного построения переходов технологического процесса позволяющие при одном и том же технологическом оборудовании и средствах технологического оснащения в 2-3 раза снизить трудоемкость подбора контрольных элементов крепления пакетов герметизации полостей опорных подшипников качения на роторах турбин высокого и низкого давления, что позволит снизить износ витков резьбы наиболее критичных резьбовых соединений таких как:

- крепления внутреннего кольца кольца роликового подшипника опоры турбины на валу ротора турбины низкого давления;
- крепления внутреннего кольца и пакета уплотнений внутреннего кольца межроторного подшипника.

Так как потеря работоспособности указанных резьб гарантированно приводит к разрушению узла турбины и как следствие гарантированному выходу из строя маршевого двигателя, то при выполнении сборки необходимо минимизировать количество циклов закручиваний - откручиваний крепежных элементов на данных резьбах (в идеале должно быть выполнено только одно закручивание крепежного элемента на резьбе), то в работе излагаются технологические приемы позволяющие в 4-6 раз уменьшить износ витков критических для работоспособности узла турбины ТРДД типа АЛ-31Ф. Обеспечение данного требования позволит в дальнейшем в ходе выполнения капитальных ремонтов изделия сохранить в хорошем состоянии резьбы дорогостоящих и точно обработанных узлов таких как:

- ротор турбины низкого давления;
- ротор турбины высокого давления.

Помимо выше перечисленного использование данных технологических приемов и методов позволит избежать появления и чрезмерного накопления

нежелательных остаточных пластических микродеформации контактных поверхностей по стыкам:

- гайка крепления – внутреннее кольцо роликоподшипника;
- гайка крепления – опорное кольцо пакета уплотнений внутренних полостей роторов.

Это в свою очередь позволит обеспечить более точное соответствие геометрических параметров проточной части узла турбины требованиям конструкторской документации, а также продлит ресурс и увеличить значение величины вероятности безотказной работы двигателя.

### **Определение параметров процесса электроэрозионной прошивки отверстий**

Кратюк Н.А.

Научный руководитель – Курицына В.В.

МАИ, г. Москва

В настоящее время электроэрозионная прошивка занимает одно из ведущих мест среди методов обработки глубоких отверстий малого диаметра в области двигателестроения. Широкое применение данный процесс получил благодаря тенденции к повышению числа охлаждающих и функциональных отверстий, выполняемых с высокой точностью и минимальными отклонениями формы в деталях двигателей ГТД. Диапазон диаметров таких отверстий часто составляет 0,2...3,0 мм при глубине до 50 мм ( $L/d = 15...150$ ), а в ряде случаев отношение глубины к диаметру достигает 200. При этом к узлам и деталям ГТД предъявляются такие требования как высокая удельная прочность, жаропрочность и жаростойкость, что обуславливает применение труднообрабатываемых материалов – различных сталей, титановых и никелевых сплавов. Помимо очевидных технологических трудностей, связанных со свойствами обрабатываемых материалов и обработкой на большую глубину, возникают сложности с достижением высокой геометрической точности отверстий (точность профиля и размеров, конусность), их расположением под острым углом к торцевой поверхности (иногда менее  $20^\circ$ ), сложным профилем отверстий и другими особенностями конструкции.

В то время как лезвийные методы обработки, несмотря на их постоянное совершенствование, с поставленной задачей справиться не могут (такая обработка часто неэффективна, а иногда и невозможна), методы электроэрозионной прошивки обеспечивают достаточно высокие геометрические характеристики таких отверстий при сравнительно небольших затратах на производство [1; 2].

Применение электроэрозионной прошивки позволяет получать глубокие отверстия диаметром от 0,02 мм и отношением глубины к диаметру отверстия до 150. При этом одной из основных трудностей, с которыми сталкиваются при прошивке глубоких отверстий, является обеспечение надежной эвакуации продуктов эрозии из зоны обработки. В настоящее время это является серьезной проблемой, т.к. скопление продуктов эрозии в зоне обработки снижает производительность процесса и со временем приводит к прекращению обработки.

Результатом данной работы является создание упрощенной математической модели движения рабочей жидкости в процессе электроэрозионной прошивки отверстий трубчатым электродом. Данная модель учитывает геометрические параметры отверстия и электрода, свойства материалов электрода и заготовки, технологические режимы и параметры установки. Применяя данную модель на этапе подготовки технологического процесса можно заранее прогнозировать на какой глубине внедрения электрода в заготовку производительность обработки начнет снижаться связи со скоплением продуктов эрозии и, исходя из полученного результата, сделать вывод о необходимости применения каких-либо мер по борьбе с данным явлением. Помимо этого, разработанная модель помогает подобрать оптимальные свойства рабочей жидкости для конкретных условий обработки.

Список литературы

1. Процессы механической и физико-химической обработки в производстве авиационных двигателей. /Бойцов А.Г., Ковалев А.П., Новиков А.С. и др. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 584 с.: ил.

2. Ставицкий И.Б. Электрофизические и электрохимические методы обработки. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005.

## **Магнитно-абразивная обработка твердосплавных режущих пластин**

Курилович С.В.

Научный руководитель – Игнатов М.П.

МАИ, г. Москва

В машиностроении при механической обработке деталей большое влияние на процесс резания оказывает качество рабочих поверхностей режущего инструмента (уровень шероховатости, величина опорной поверхности микропрофиля, наличие на поверхности микроконцентраторов напряжений в виде микросколов и вырывов). Больше всего исследований в этой области проводилось для инструментов из твёрдых сплавов. В связи с хрупкостью этих материалов, дефекты режущих кромок в процессе эксплуатации являются причиной появления сколов (наиболее распространенный характер разрушения инструмента), а также напряженным состоянием поверхностного слоя. Именно на эти факторы уделяется особое внимание на финальных операциях изготовления режущего инструмента при формообразовании окончательных радиусов скругления, шероховатости рабочих поверхностей и напряженного состояния поверхностного слоя.

На данный момент самыми распространенными видами финишной обработки твердосплавного режущего инструмента, в частности твердосплавных режущих пластин, являются: струйно-абразивная и виброабразивная обработки, которые применяют после спекания пластин. Основной целью данных операций является удаление облоя (остатки засыпки применяемой при спекании), притупление режущих кромок, снижение уровня шероховатости и формирование нормальных остаточных напряжений в поверхностном слое. Достаточно распространенным методом финишной размерной обработки является также шлифование рабочих поверхностей твердосплавных пластин абразивным или алмазным (эльборовым) инструментом.

Одним из прогрессивных методов финишной обработки является магнитно-абразивная обработка (МАО). Магнитно-абразивная обработка (англ. magnetic-abrasivemachining) - абразивная обработка, осуществляемая при движении заготовки и абразивных зерен относительно друг друга в магнитном поле (ГОСТ 23505-79).

Целесообразность и эффективность использования этого метода для финишной обработки твердосплавных режущих пластин подтверждаются результатами работ Барона Ю.Т. и Сакулевича Ф.Ю. и др. Данный метод дает возможности не только улучшения шероховатости рабочих поверхностей до 0,15...0,2 мкм, но и перспективы, связанные с наклепом поверхностного слоя твердых сплавов, обеспечивающего существенное повышение поверхностной твердости (в ряде случаев до величины  $HV=18...20$  ГПа, на глубине более 10-50 мкм), повышение работоспособности режущего инструмента не менее чем в 1,3-1,5 раза.

Общими недостатками методов, применяемых при МАО являются ограничения, связанные с используемыми схемами обработки, определяемые условиями базирования деталей в зонах обработки – когда ось режущей пластины расположена вертикально и совпадает с осью преимущественного вращения шпинделя станка. Подобные ограничения объясняются существующим для МАО оборудованием и известными схемами обработки, которые являются развитием и усовершенствованием схемы роторной обработки, реализуемой на станках типа МАРС и типа «кольцевая ванна». Существующие схемы МАО не учитывают в полной мере специфику процесса обработки, определяемую сложной и разнообразной формой режущих пластин. При этом нужно одновременно решать задачи, связанные с обеспечением равномерной и эффективной обработки всех рабочих поверхностей твердосплавного инструмента.

## **Информационное сопровождение технологического аудита научно-технических производств**

Курицын Д.Н.

Научный руководитель – Бойцов А.Г.

МАИ, г. Москва

Многообразие целей и задач, стоящих перед технологическим менеджментом производственной организации, сложность проблем, динамичные и нечеткие условия требуют регулярного принятия различных управленческих решений в таких областях как конструкторско-технологическая доводка изделий производства, модернизация технологического оснащения, внедрение новых технологических процессов, выбор направлений технологических инвестиций и многих других. Технологический аудит служит основой для разработки конструкторско-технологических мероприятий и соответствующей документации, направляемых для исполнения и внедрения в производство. Экспертные методы следует рассматривать как один из возможных подходов к всестороннему изучению сложных проблем, в которых окончательное решение не явно. В условиях ограниченного ресурса времени и средств на принятие технологических решений эффективным средством является применение

автоматизированных систем сопровождения принятия технических решений, основанных на алгоритмах многомерной и многокритериальной оптимизации, математической статистики, обработки экспертных мнений специалистов.

Для реализации метода экспертного оценивания технологических решений было разработано программное обеспечение, позволяющее оперативно произвести сбор и обработку экспертных мнений в области инновационных технологий сложного формообразования деталей и конструкций. Методика автоматизации процедур экспертного оценивания при выполнении технологического аудита наукоемких производств учитывает специфику многовариантных и многокритериальных задач производственного управления. Инфологическая модель данных при реализации информационных процессов обработки экспертных оценок в многовариантных и многокритериальных задачах представляет многомерную матричную структуру. Программная реализация автоматизированной системы органично ложится на комбинацию методов реляционного (табличного) представление данных в Excel и информационного представления иерархических сетей в MatLAB [1].

Апробация автоматизированной системы обработки экспертных оценок при принятии технологических решений осуществлялась на примере технологической экспертизы производственной целесообразности технологического метода сварки типовых элементов авиакосмических конструкций. Оценивалась производственная целесообразность метода сварки трением с перемешиванием в качестве технологии соединения компонентов конструкции авиакосмической техники [2]. В ходе опытной эксплуатации предлагаемого программно-информационного комплекса сопровождения технологической экспертизы были получены объективные оценки производственной целесообразности технологий получения неразъемных соединений в базовых конструкциях авиакосмической техники из легких сплавов.

Литература

1. Курицына В.В., Косов Д.Е., Курицын Д.Н. Автоматизация задач экспертного оценивания в процедурах технологического менеджмента авиационного производства: Научные труды (Вестник МАТИ). Вып. 19 (91). – М.:МАТИ, 2012. С. 162-173.

2. Бойцов А.Г., Качко В.В., Курицын Д.Н. Сварка трением перемешиванием / РИТМ: Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация. 2013. № 10 (88). С. 38-46.

УДК 621.822

## **Анализ организации производства колец статора ГТД в связи с вопросами импортозамещения**

Кушнарёв А.В.

Научный руководитель – Хопин П.Н.

МАИ, АО «НПЦ газотурбостроения «Салют», г. Москва

В связи с прекращением партнерских отношений с Украиной в 2016 году перед предприятием АО «НПЦ газотурбостроения «Салют» поставлен вопрос о расширении основного ряда производственных задач.

В рамках решения данного вопроса произведен анализ организации производства колец статора ГТД.

В результате анализа выявлены основные факторы, мешающие производству. Планирование происходит по фактической нехватке деталей сборочных единиц (ДСЕ) в группе сборки, по этой причине производят постоянные переналадки для изготовления других деталей, а также не поступает вовремя необходимый инструмент. Ремонт и обслуживание оборудования производится несвоевременно, увеличивая сроки простоев из-за поломок. Контроль за процессом производства непостоянный, производится при явной неуспеваемости участка. У рабочих отмечается отсутствие мотивации, боязнь изменения норм труда, недовольство заработной платой.

Для оптимизации производственного процесса разработана программа, включающая в себя таблицы отслеживания загрузки оборудования: таблица круглосуточного контроля, таблица анализа полученных данных, таблица готовых деталей сборочных единиц. На основе данных из этих таблиц становится возможным:

- произвести ежеквартальное планирование с возможностью гибкой системы сдачи готовых узлов, в результате чего появится возможность увеличить количество изготавливаемых деталей за одну переналадку, снизить затраты времени на переналадки, снизить количество переналадок, сформировать задел;

- собрать статистику поломок оборудования, периодичность, виды неисправности и сроков устранения, что даст возможность понять какие запасные части необходимо держать в запасе для каждого станка, выявить слабые места станков для оптимизации нагрузки и сведения к минимуму вероятность выхода из строя оборудования;

- своевременно перемещать сотрудников в рамках завода, не срывать производственный процесс при внезапном отсутствии работника, а также предложить рабочим дополнительный заработок, что повысит их заинтересованность в увеличении сдачи готовой продукции.

Планируемым результатом реализации данной программы является разработка и внедрение оптимального плана запуска изготовления продукции, что позволит решить актуальный для предприятия вопрос импортозамещения.

### **Сравнительный анализ вариантов обратных связей при управлении качеством конструкции при проектировании**

Львов Д.Л.

Научный руководитель – Юрин В.Н.

МАИ, г. Москва

Проектирование машин – замкнутая система управления их качеством. При этом обратная связь такой системы может осуществляться несколькими способами [1]:

- Личные знания, опыт и интуиция конструктора – традиционный способ получения информации о возможных вариантах управляющих воздействий на конструкцию для повышения ее качества.
- Базы данных и знаний (в том числе в виде рекомендаций, обзоров, фондов физико-технических эффектов, эвристических приемов, экспертных

систем и др.), включающие информацию об известных технических решениях, способах повышения качества, исследованиях, испытаниях и т.п.

- Испытание машин, их узлов для проверки принятых при проектировании технических решений.

- Испытание макетов узлов и деталей машин (их физических моделей) для проверки принятых при проектировании технических решений.

- Вычислительный эксперимент с математической моделью конструкции для проверки и оптимизации принятых при проектировании технических решений.

- Вычислительный эксперимент с математической моделью физико-технического эффекта, на котором основана работа конструкции (ФТЭ конструкции), для проверки и оптимизации возможных управляющих воздействий на конструкцию для повышения ее качества.

В данной работе с использованием метода индивидуальных экспертных оценок по методике работы [2] проведен сравнительный анализ вышеуказанных вариантов обратных связей при поисковом конструировании с учетом следующих установленных критериев:

- Оперативность оценки вариантов управляющих воздействий на конструкцию для повышения ее качества.

- Адекватность получаемой оценки вариантов управляющих воздействий на конструкцию для повышения ее качества.

- Затраты на реализацию обратной связи.

- Накопление личного опыта конструктора при поиске и отборе управляющих воздействий на конструкцию для повышения ее качества.

Показано, что наиболее предпочтительным является вариант Е – вычислительный эксперимент с математической моделью ФТЭ конструкции, имеющий наибольшее значение комплексного показателя качества, представляющего собой свертку экспертных оценок рассмотренных вариантов по принятым критериям.

Вычислительный эксперимент с математической моделью ФТЭ конструкции является эффективным личным рабочим инструментом самого конструктора (не исследователя или расчетчика) при поиске, анализе и выборе инновационных технических решений, начиная с ранних стадий проектирования.

Литература

Юрин В.Н. Автоматизация ранних стадий проектирования средств повышения качества станков путем управления их тепловыми деформациями. – М.: ВНИИТЭМР, 1991. – 72 с.

Альбом технологической оснастки для станков с ЧПУ в авиадвигателестроении. Учебное пособие. Ч.1. Станочные приспособления для станков с ЧПУ в авиадвигателестроении./В.Ф. Безъязычный, В.Д. Корнеев, В.Н. Ливанов и др. Под общ. ред. В.Ф. Безъязычного. – М.: Машиностроение, 2000. – 147 с.

## **Перспективы создания твердотопливного ускорителя для ракеты-носителя сверхтяжёлого класса**

Мазенков С.Е.

Научный руководитель – Ярославцев Н.Л.

МАИ, г. Москва

В настоящее время всё более остро ощущается необходимость создания твердотопливного ускорителя для ракеты-носителя. Если обратиться к истории, то можно заметить, что разработка крупногабаритных ракетных двигателей твердого топлива началась в США на 10-15 лет раньше, чем в СССР. Анализ результатов испытаний позволил выявить ряд преимуществ:

- структурная простота и надежность эксплуатации;
- малая трудоемкость изготовления (возможна автоматизация производства основных составных частей);
- простота эксплуатации и подготовки к пуску.
- заимствование отечественных разработок вплоть до полного использования ракетного двигателя твердого топлива боевого назначения.
- сравнительно низкая стоимость производства ракетного двигателя твердого топлива по сравнению с жидкостными ракетными двигателями.

Последний раз к ракетным двигателям твердого топлива в качестве ускорителя для ракеты-носителя обращались в рамках проекта «Энергия - Буран». В то время от применения ракетных двигателей твердого топлива отказались, так как они не могли обеспечить достаточную грузоподъемность из-за малоразвитой технологии его создания. Но на сегодняшний день технологии при создании ракетных двигателей твердого топлива в России уже достигли достаточного уровня для воплощения такой идеи, как твердотопливный ускоритель.

Посмотрев в прошлое можно заметить, что ускорители на твердом топливе уже применялись в качестве маршевой ступени для ракеты-носителя. Одним из примеров является разработанная в США программа «SpaceShuttle». Для разгона челнока были использованы два твердотопливных ускорителя, которые отделялись на высоте около 45 километров, после чего работу продолжал лишь жидкостной ракетный двигатель.

Ещё одним примером может служить европейская ракета-носитель «Ариан-5», служащая для выведения полезной нагрузки на низкую опорную орбиту. В тандеме с жидкостным ракетным двигателем используются два твердотопливных ускорителя, установленные по бокам и обеспечивающие основную тягу при старте ракеты.

Российская Федерация уже обладает огромным опытом в части создания корпусов ракетных двигателей твердого топлива из угле- и органопластиков, отработки материалов докритической и сверхзвуковой частей сопла, работающих при больших нагрузках, а также создания и использования различных наполнителей ракетного топлива для повышения его энергетических характеристик.

Учитывая предыдущий опыт создания и использования твердотопливных ускорителей в мире, имеющийся научный задел в создании ракетных двигателей твердого топлива, а также весь спектр технологий ракетно-космической отрасли

в России становится возможным создание твердотопливного ускорителя для ракеты-носителя как среднего, так и тяжелого классов.

## **Анализ методов и стендов для испытаний РДТТ**

Марьянов Д.В.

Научный руководитель – Хопин П.Н.

МАИ, г. Москва

Учитывая современные макроэкономические условия развития нашей страны, а также насущную потребность в уменьшении дорогостоящих и трудоемких натуральных огневых стендовых испытаний (ОСИ) и летно-конструкторских испытаний (ЛКИ) крупногабаритных РДТТ, актуальной является задача повышения эффективности огневой стендовой отработки.

РДТТ применяются как в военной, так и в космической отраслях. Существующие двигатели принято делить на маршевые, или основные, управления или технологические.

Конверсия межконтинентальных баллистических ракет с РДТТ, например модернизация трехступенчатой ракеты-носителя РС-12М «Тополь» в четырехступенчатую ракету-носитель «Старт-1», показала эффективность использования РДТТ в качестве средств выведения спутников на круговые орбиты.

Стендовую отработку РДТТ в зависимости от главных задач, стоящих перед конкретной серией испытаний и достигнутой степени отработки двигателя, можно разделить на несколько основных этапов: научно-исследовательские, предварительные, доводочные (чистовые доводочные); приемоиспытательные (контрольные), контрольно-выборочные.

Основными стендами для испытаний являются: горизонтальный стенд открытого типа, горизонтальный стенд закрытого типа, вертикальный стенд. Для нестандартных испытаний существует множество различного испытательного оборудования: имитаторы высотных условий, стенд для измерения по газодинамическому тракту при комплексной проверке выхлопной системы высотного стенда, установка для исследования течения и теплообмена в соплах с регулируемым критическим сечением, модельная воздушная установка, бароустановка, баростенд с трехкомпонентным силоизмерителем, и др.

Регистрация информации в процессе ОСИ происходит следующим образом. Сигнал с первичных преобразователей, установленных на объекте испытания или на соответствующих магистралях стенда, поступает на промежуточные усилители и преобразователи сигналов. Далее информация регистрируется и обрабатывается с помощью средств микропроцессорной техники. Практическая реализация аппаратно-программного комплекса для регистрации и обработки результатов ОСИ РДТТ осуществляется при помощи ЭВМ, в качестве которой могут использоваться персональные компьютеры или компьютерные станции и платы сопряжения (ПСО) ЭВМ с объектом испытания.

В работе представлена классификация и проведен анализ конструкции РДТТ. Рассмотрены основные сведения о стендовой отработке РДТТ, представлены технические средства и наземное испытательное оборудование для испытаний

РДТТ. Выявлены положительные и отрицательные качества стенов для испытаний РДТТ.

### **Снятие измененного поверхностного слоя в отверстиях пера турбинной лопатки методом гидроабразивной обработки**

Моисеев Н.Ю.

Научный руководитель – Маликов С.Б.

МАИ, г. Москва

Главными задачами машиностроения являются быстрое и качественное производство деталей, соответствующих размерам и требованиям чертежа.

В современной машиностроительной промышленности все больше появляется деталей сложной конфигурации и новые материалы с очень высокими механическими свойствами. Поэтому совершенствуются новые методы размерной обработки, такие как электроэрозионная обработка (ЭЭО).

В процессе ЭЭО, в зависимости от режимов образуется измененный поверхностный слой. Размер и глубина которого зависит от режимов обработки (Таб. 1) [1].

Таблица 1.

Тип обработки	Режим обработки	Шероховатость поверхности, мкм	Глубина дефектного слоя, мм	Уровень остаточных напряжений
Черновая	Жесткий	Rz=80...320	0,3–0,2	Высокий
Чистовая	Средний	Rz=20...40	0,2–0,1	Средний
Отделочная	Мягкий	Ra=0,8...1,6	0,1–0,05	Низкий
	Очень мягкий	Ra=0,8...1,6	0,05–0,001	Очень низкий

Последовательная ЭЭО при перфорации отверстий не применяется из-за сложности предсказания результатов по изменению глубины дефектного слоя. А производить обработку изначально на мягких и очень мягких режимах не целесообразно по причине неприемлемо увеличивающихся энергозатрат и рабочего времени. Поэтому в основном применяются средние режимы обработки.

Для снятия измененного поверхностного слоя было решено после перфорации отверстий пера лопатки внедрить операцию гидроабразивной обработки (ГАО).

Установлено, что эффективность съема материала с обрабатываемой поверхности при ГАО определяется скоростью движения абразивной суспензии относительно обрабатываемой поверхности, плотности абразива, его зернистостью и геометрическими характеристиками, а также углом атаки абразива. Съем материала тем больше, чем больше на него динамическое воздействие.

При ГАО материал обрабатывается острыми углами абразивных частиц. Острота абразива в большой степени влияет на эффективность обработки.

На практике установлено, что отношение глубины  $h$  и длины  $l$  лунки, образованной незакрепленной абразивной частицей при соударении с обрабатываемой поверхностью, зависит только от коэффициента трения и угла

атаки частиц и не зависит от свойств материала. Что позволяет сделать предположение, что при ГАО использование масляной абразивной суспензии более эффективно, чем при применении водной.

В результате гидроабразивной обработки наблюдается уменьшение глубины измененного слоя, в следствии чего можно сделать вывод, что при работе двигателя ресурс работы турбинных лопаток увеличивается.

#### ЛИТЕРАТУРА:

Аброимов Н. В., Елисеев Ю. С., Крымов В.В. Материаловедение. Технология конструкционных материалов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 560 с.

## **Повышение надёжности оценки функционального зазора роторного агрегата**

Найденев Д.Д.

Научный руководитель – Петухов С.Л.

МГМУ (МАМИ), г. Москва

Развитие современной авиационной техники неразрывно связано с повышением эффективности, ужесточением технических характеристик и повышением надежности агрегатов.

Важнейшим показателем высокооборотных роторных агрегатов является точность, минимальная величина и постоянство по углу поворота радиального воздушного зазора (РВЗ) статор-ротор. При эксплуатации величина РВЗ, получаемая после сборки, изменяется под воздействием динамических факторов, возникающих вследствие высокой оборотности ротора.

Конструкция ротора электрической машины включает два напрессованных на вал клювообразных элемента, удерживающих обмотку из красной меди. «Клювы» представляют собой штампованные стальные детали Г-образной формы, шлифованные после сборки по наружному диаметру в центрах вала.

В процессе эксплуатации возникает цепляние ротора за статор, что вынуждает уменьшать наружный диаметр ротора и при этом ухудшать электромеханические характеристики агрегата, поэтому актуальной задачей является определение величины раскрытия «клювов» ротора под действием динамических нагрузок и степень его влияния на величину РВЗ.

В качестве объекта исследования выбран ротор электрической машины.

Анализ динамических нагрузок действующих на «клювы» ротора в процессе эксплуатации показал, что основными причинами деформации являются:

- изгиб «клюва» ротора центробежными силами;
- перемещение «клюва» ротора за счет деформаций диска;

В основу расчета рассмотренных деформаций «клювов» ротора было положено дифференциальное уравнение упругой линии и теория расчета пластин, а наибольшие расчетные величины перемещения «клювов» ротора составили 43 мкм и 79 мкм соответственно.

Таким образом рассмотрена возможность оценки изменения функционального зазора роторных агрегатов под действием динамических нагрузок и найдено объяснение причины цепляния ротора и статора в режиме эксплуатации при годности сборочных единиц. Приведена схема нагружения

ротора, выполнены оригинальные расчеты и подтверждена значимость влияния упругих радиальных деформаций поверхностей вращающегося ротора на величину функционального зазора. Предложены пути повышения надежности обеспечения функционального зазора роторного агрегата.

### **Технология изготовления составных изделий с полимерпорошковыми вставками**

Огородничий Д.В.

Научный руководитель – Исаев А.Н.

ДГТУ, г. Ростов-на-Дону

Подшипники скольжения широко применяются в технике, они просты по конструкции, работают в высокоскоростном режиме при больших значениях динамических нагрузок, экономичны при эксплуатации. Радиальный подшипник скольжения представляет собой корпус, имеющий цилиндрическое отверстие, в которое запрессовывают втулку из антифрикционного пористого материала с натягом. Зазор между валом и отверстием втулки подшипника позволяет валу свободно вращаться.

Одним из эффективных методов образования натяга между корпусом и пористой втулкой является дорнование отверстия, при выполнении которого происходит деформационное уплотнение пористого материала и изменяются его свойства, благоприятно отражающиеся на качестве запрессовки.

В процессе дорнования изменяется толщина стенки пористой вставки и ее объем за счет уплотнения пористого каркаса без изменения его длины. Это свойство пористого материала позволило установить связь радиальной относительной деформации по толщине стенки с относительным натягом дорнования. Анализ результатов исследований позволил определить предельный натяг, при котором пористый материал приобретает плотность, близкую к компактному.

Установлена связь пористости материала с натягом дорнования и установить натяг дорнования, при котором исходная пористость в процессе деформирования изменяется до величины, при которой сохраняется необходимая работоспособность изделия. Пористый материал, предварительно подвергнутый пластическому деформированию, приобретает новые свойства, связанные с увеличением его плотности и уменьшением пористости. Практически имеет значение возможность расчета натяга дорнования не по изменению плотности, а с учетом изменения пористости в процессе деформирования и сохранения необходимой работоспособности изделия.

Радиальное напряжение (давление) в сопряжении пористой втулки с корпусом является функцией сопротивления материала пластическому деформированию, зависящего от натяга дорнования. На основе задачи Ламе выведены уравнения для расчета давления и образующегося натяга в соединении в функции свойств материалов и размеров деталей, а также режимов дорнования, опосредованных через контактное напряжение и сопротивление сжатию пористого материала.

Дополнительно в спеченную пористую втулку на этапе ее подготовки к запрессовке в корпус могут быть установлены полимерные вставки,

выступающие из отверстий вала, которые предназначены для поддержки необходимого зазора между поверхностями опоры и вала в момент начала его вращения в подшипнике.

Необходимое соотношение величины выступа полимера над поверхностью втулки и натяга дорнования могут быть выявлено технологическим и конструкторско–технологическим методами

Дорнование отверстий полимерпорошковых втулок позволяет:

- получить размер отверстия втулки, обеспечивающий эффективную работу подшипника скольжения;
- обеспечить величину вылета полимерных вставок в пределах смазочного слоя, удовлетворяющую правилу Шарпи;
- сохранить пористость материала втулки на уровне, обеспечивающем надежное смазывание трущихся поверхностей и циркуляцию масла в материале втулки;
- создать прочное прессовое соединение путем однопроходного дорнования.

Дорнование может быть эффективно использовано в технологиях изготовления составных изделий с полимерпорошковыми вставками, например, подшипников скольжения, сборка которых с применением этого метода создает предпосылки их быстрого и недорогого многократного восстановления.

### **Повышение точности шпиндельных узлов путём их термостатирования**

Осаченко М.Д., Сыромятников Д.А.  
Научный руководитель – Дубров Ю.С.  
ДГТУ, г. Ростов-на-Дону

Точность и производительность металлорежущего станка во многом определяются шпиндельным узлом (ШУ) и в первую очередь зависят от температурных полей и вызванных ими тепловых деформаций ШУ. Тепловыделения регламентируются допустимым нагревом подшипников. Для станков класса Н норма нагревания наружного кольца подшипника составляет 70 °С, при этом увеличение температуры на каждые 15 °С вдвое снижает ресурс работы подшипника.

По методике [1] авторами рассчитана избыточная температура в подшипнике качения(диаметр беговой дорожки наружного кольца  $d_n = 100\text{мм}$ , внутреннего  $d_p = 65\text{мм}$ , ширина подшипника  $L=18\text{мм}$ , число роликов  $Z=10$ ; потери на трение в подшипнике при некотором режиме его эксплуатации и непрерывной работе в течение 30 мин характеризуются мощностью  $W=50\text{Вт}$ ), которая не превысила 30 °С.

Одним из способов термостатирования шпиндельных узлов является применение тепловых труб(ТТ)[2,3]. При рациональном размещении ТТ в шпиндельном узле достигнуто по данным [3] уменьшение тепловых деформаций пиноли с 24,3 до 4 мкм (в 6 раз) и получено одновременное повышение жесткости узла до 40 %, по сравнению с работой без ТТ, с учетом ограничения теплоустойчивости и не допуская потери им работоспособности. Термостабилизация пиноли с ТТ происходит за 1000 с, а без использования ТТ в

течении 7200 с при тепловой нагрузке в 15,2 Вт (частота вращения шпинделя 4500 мин<sup>-1</sup>).

В последнее время для повышения надежности работы радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) используются системы охлаждения с применением тепловых труб, а также системы охлаждения с плавящимся рабочим веществом [4]. Применяются плавящиеся вещества и в теплоаккумуляторах [5] и в технологических системах [6].

Авторами для повышения точности шпиндельных узлов путем их термостатирования разработана экспериментальная установка, которая позволяет оценить степень влияния тепловых труб, передающих теплоту, которая возникает в зоне трения подшипника, контейнером с плавящимися веществами, имеющими разную температуру плавления

(парафин– от 36 до 55 °С, стеарин– от 55 до 72 °С).

Список литературы

Резников А.Н. и Резников Л. А. Тепловые процессы в технологических системах 1990г. -288с.

Юрин В.Н. Шпиндельные узлы с тепловыми трубами // Станки и инструмент. 1981. -№ 4. -С. 16- 18.

Фролов А.В. Повышение точности шпиндельных узлов прецизионных станков методом термоупругого моделирования при заданной их теплоустойчивости [Текст]: Автореф. дисс....канд. техн.наук: 05.03.31 /Александр Владимирович Фролов.- Москва.- 2007.-16с.

Улитенко А.И. Принципы построения высокоэффективных систем охлаждения электронных приборов [Текст]: Автореферат дисс....докт.техн.наук:05.27.02, 05.04.03 /Александр Иванович Улитенко.- Рязань.-2009.-36с.

Остапенко В.В. Фазопереходной аккумулятор теплоты для нужд систем теплоснабжения [Текст]: Автореферат дисс....канд.техн.наук: 05.23.03 /Виталий Валерьевич Остапенко.- Макеевка.- 2015.-23с.

Дубров Д.Ю. Повышение периода стойкости сборных резцов испарительным охлаждением при сухом резании [Текст]: Автореф. дисс....канд.техн.наук: 05.02.07 /Дмитрий Юрьевич Дубров.- Брянск.- 2015.-19с.

## **Анализ эффективности изготовления пазов диска ТВД различными методами**

Пальвинская Т.С., Токмакова Е.Н.

Научный руководитель – Маликов С.Б., Токмакова Т.В.

МАИ, г. Москва

Повышение эффективности и качества обработки в машиностроительном производстве является приоритетным направлением на современном этапе научно-технического прогресса. При проектировании и изготовлении дисков турбины высокого давления (дисков ТВД) необходимо обеспечить целый ряд требований: создать запас прочности на разрыв для любых возможных условий эксплуатации; свести к минимуму вероятность разрушения диска от перегрева; конструкция диска должна быть надежной, долговечной и обеспечивать передачу заданного крутящего момента с дисков на вал; также необходимо

прочное и технологичное замковое соединение с лопатками, так как от качества соединения лопаток турбины с диском зависит стабильность работы всего двигателя

В настоящее время для изготовления высокоточных пазов по периферии дисков ТВД необходимых для закрепления лопаток турбины используются следующие методы обработки: протягивание, высокоскоростное протягивание, гидроабразивная резка с последующим протягиванием пазов, гидроабразивная обработка и шлифование пазов, электрохимическая и электроэрозионная обработка пазов.

На основе полученных данных были проведены расчеты и сравнительный анализ базовых экономических показателей двух методов обработки пазов в дисках: протягивания и электроэрозионной обработки. Исследования были выполнены на конкретном производстве, оборудовании и инструментах.

Изучение эффективности обработки выполнялось по следующим критериям: годовые затраты по оплате труда основных и вспомогательных рабочих, занятых обслуживанием станка; годовые затраты на содержание и эксплуатацию металлообрабатывающего станка, включающие затраты на силовую электроэнергию станка и годовые затраты на ремонт и техническое обслуживание станка; расходы, связанные с годовой амортизацией оборудования.

Было установлено, что при электроэрозионной обработке пазов происходит снижение себестоимости одного диска более чем в 2 раза по сравнению с методом протягивания. Как правило, для изготовления пазов диска используется комплект из трех протяжек, которые быстро приходят в негодность. А изготовление пазов электроэрозией производится с помощью проволочной электрода инструмента, протягиваемого через направляющие.

Таким образом наиболее значительное снижение затрат при изготовлении пазов диска ТВД методом электроэрозионной обработки наблюдается за счет сокращения расходов по изготовлению дорогостоящего режущего инструмента необходимого для механической обработки. Кроме того, отмечено улучшение качества поверхности обрабатываемых дисков и снижение общей трудоемкости изготовления деталей. Учитывая общие тенденции повышения квалификации сотрудников и переоборудования цехов, имеются неоспоримые доводы для применения технологии электроэрозионной обработки при производстве пазов дисков ТВД.

## **Методики проектирования и расчёта теплообменного аппарата для малоразмерных газотурбинных двигателей**

Попова Т.В.

Научный руководитель – Силуянова М.В.

МАИ, г. Москва

Проблема повышения эффективности газотурбинных двигателей (ГТД) возникла в связи с фактом неуклонного роста требований к экономичности авиационных двигателей и энергетических установок. Согласно экономической стратегии в России на период до 2030 г., внутренний спрос на топливно-энергетические ресурсы к 2030 г. вырастет в 1,6-1,7 раза по отношению к

уровню 2005 г. Особенно актуальна данная проблема для малоразмерных ГТД. Улучшение экономичности ГТД возможно за счет регенерации тепла. В настоящее время роль малоразмерных ГТД в энергетической и авиационной отрасли значительно расширяется. Малоразмерные ГТД имеют большие перспективы использования в беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) и для решения задач малой энергетики. Вместе с тем эффективность регенерации тепла в значительной мере зависит от теплообменных аппаратов (ТА). На сегодняшний день в малоразмерных ГТД с регенерацией тепла применяются в основном пластинчато-ребристые ТА. Однако, использование пластинчатых теплообменников существенно позволяет снизить массу и габариты двигателя в целом. Создание ГТД с приемлемыми массо-габаритными и эксплуатационными показателями требует дальнейшего совершенствования методов расчета и проектирования компактных теплообменников, анализа условий рационального согласования параметров теплообменника и двигателя.

В рамках работы разработаны параметрические 3D-модели для пластины и оснастки (штамп) теплообменного аппарата; разработан метод 3D-расчета теплообменного аппарата и проведена его верификация; разработана аналитическая программа расчета, на основе полученных критериальных зависимостей.

Параметрическая модель представляет собой набор зависимостей и задаваемых параметров, сведенных в таблицу. При изменении одного из параметров модель перестраивается автоматически. Время создания 3D-модели для исследований сократилось с 8 ч. до 1-5 мин по сравнению с обычной 3D-моделью.

В основе 3D-расчета используется метод численного моделирования RANS. В качестве модели турбулентности использована модель Ментера (SST). Проведена верификация разработанной методики. В рамках верификации рассмотрены структурированная гекса-сетка и автоматическая тетра-сетка. Обе сетки показали удовлетворительные результаты по сходимости экспериментальных и расчетных данных в пределах 20-25% при числах Рейнольдса меньше 2000. При более высоких числах Рейнольдса расхождение расчетных и экспериментальных данных снижается и составляет: у гекса-сетки – 1-8% и 9-15 % для тетра-сетки. Поскольку на практике построение структурированной гекса-сетки отнимает существенно больше времени, чем построение автоматической тетра сетки, то автоматическая тетра сетка принята как наиболее рациональный вариант. С помощью данного метода проведено расчетное исследование, в результате которого получены критериальные зависимости. На основе данных зависимостей составлена аналитическая программа расчета. Выходными данными данной программы являются степень регенерации и потери давления. Программа используется для получения предварительной оценки пластины с последующим уточнением полученных расчетных данных методом 3D-расчета.

Основным недостатком существующих методик расчета и проектирования ТА являются большие затраты времени на его проведение. Данная работа является одним из решений данной проблемы. Такой метод расчета и проектирования позволяет сократить время и учесть большее количество

факторов влияющих на процесс, а также представить результаты расчета в наглядном виде (поля скоростей, температур, давлений).

## **Анализ напряжённого состояния и деформаций рабочей лопатки КНД для различных схем закрепления при фрезеровании**

Редозубов А.В.

Научный руководитель – Хопин П.Н.  
МАИ, г. Москва

При фрезеровании лопаток компрессора малой жёсткости возникает проблема отжима заготовки во время обработки, что ведёт к отклонениям формы профиля пера, особенно в средних сечениях, наименее жёстких. Наиболее ярко это проявляется в виде искривления оси пера, что приводит к увеличению толщины профиля в наименее жёстких сечениях и повороте пера, что приводит к увеличению толщины кромок.

Объектом исследования является лопатка 1-й ступени КНД. Лопатка имеет хвостовик типа «ласточкин хвост» с плоскими рабочими поверхностями и антивибрационные полки. Длина пера лопатки – более 250 мм, материал лопатки – титановый сплав ВТЗ-1.

Цель исследования - подбор оптимальных режимов нагружения лопатки во время обработки для увеличения её жёсткости и снижения погрешностей формы, вызванных упругими деформациями под действием сил резания при фрезеровании пера лопатки 1-й ступени КНД.

В настоящее время распространены следующие схемы базирования заготовки лопатки при фрезеровании:

1. Фрезерование на 3-х – координатных станках с созданием дополнительных упорных баз: базирование осуществляется по хвостовику лопатки и технологической бобышке, при этом под нижнюю сторону лопатки (например, спинку при обработке корыта) устанавливаются дополнительные упорные базы со сферическими наконечниками для устранения отжима заготовки. При данном способе обработки невозможна обработка пера лопатки за один установ, что приводит к отклонениям расположения между спинкой и корытом пера лопатки, невозможно поддержание постоянных углов между осью вращения инструмента и касательной плоскостью к обрабатываемой поверхности, а, следовательно, и постоянной скорости и усилий резания.

2. Круговое фрезерование на 5 – координатных станках с зажимом заготовки. При данном виде обработки происходит одновременное фрезерование спинки и корыта лопатки за один установ за счёт вращения лопатки вокруг продольной оси. Заготовка закрепляется в станке с помощью специальных тисков за хвостовик и поджимается центром со стороны технологической бобышки, что обеспечивает её базирование и закрепление. Но на лопатках с малой толщиной профиля и малым углом его закрутки такая схема крепления может привести к увеличению отжимов детали за счёт недостаточного запаса устойчивости пера.

На станке МШ-600 (ЗАО «МСЗ-Салют», РФ) для увеличения жёсткости лопатка нагружается во время обработки усилием растяжения. В ходе эксперимента обрабатывались 2 лопатки – одна при обработке нагружалась сжимающими усилиями, другая – растягивающими.

В средних сечениях пера лопатки, обработанной традиционным способом, происходит увеличение толщины кромок профиля вследствие отжима под действием сил резания.

При изготовлении лопатки с приложением растягивающих усилий, искажения профиля заметно уменьшаются.

### **Анализ методов получения оксидных покрытий титана и его сплавов**

Синюгин А.А.

Научный руководитель – Пискарев А.С.

МАИ, г. Москва

Титан и его сплавы отличаются низкой износостойкостью, что затрудняет их применение для деталей, работающих в условиях фрикционного износа. В резьбовых соединениях наблюдается задиранье и наволакивание металла.

Для устранения этих недостатков рекомендуется применять процесс оксидирования титана. Оксидные покрытия, образующиеся при этом, воздействуют на поверхностные слои, и часто оказывают более сильное влияние на общие свойства металла, чем весь остальной материал изделия.

В данной работе ставилась цель: анализ, оценка существующих методов оксидирования титановых сплавов и выбор наиболее перспективного.

В настоящее время существуют различные способы получения оксидных покрытий:

- термическое оксидирование
- химическое и анодное оксидирование
- микродуговое оксидирование

При термическом оксидировании антифрикционные свойства титана и его сплавов, после получения покрытия, обуславливаются благоприятным сочетанием высокой твердости поверхностной плотной окисной пленки, толщиной в десятые доли микрона, хорошим сцеплением ее с альфированным, а также способностью обработанной поверхности удерживать смазку. Оксидированные детали хорошо работают на трение в паре с одноименным материалом, со сталью и цветными сплавами.

Пленки полученные в результате химического и анодного оксидирования позволяют:

- повысить химическую стойкость материала;
- придать декоративные свойства, изменив окраску материала;
- повысить адсорбционную способность поверхности;
- повысить износостойкость.

Защитные покрытия наносимые методом микродугового оксидирования применяют с целью:

- защита от контактной коррозии изделий из стали, меди и медных сплавов, контактирующих с деталями из титановых сплавов в условиях морской воды;
- антизадирное покрытие для крепежных изделий из титановых сплавов.
- После оценки представленных методов, в сравнении с другими, микродуговое оксидирование является наиболее перспективным.

Данная технология нанесения покрытий имеет следующие преимущества:

- - нетоксична и экологически чистая;
- - позволяет обрабатывать детали любой конфигурации и размеров;
- - не требует предварительной подготовки (промывка, очистка);
- - сохраняет форму и размеры изделия;
- - не приводит к «поводкам» изделия, так как производится при температуре не выше 28 °С.

## **Оценка остаточных напряжений после пескоструйной обработки образцов сплава ВТ6 в зависимости от времени вылеживания**

Соколова А.Ю.

Научный руководитель – Егоров Е.Н.

МАИ, Ступинский филиал

Титановые сплавы стали одними из наиболее широко применяемых материалов при изготовлении медицинских изделий, в частности элементов эндопротеза тазобедренного сустава. Для улучшения сращения мягких и костных тканей с имплантатом необходимо повысить пористость и шероховатость его поверхности. Одним из перспективных способов получения пористого титанового покрытия является плазменное напыление.

Структура и адгезионная прочность покрытия во многом зависят от состояния напыляемой поверхности (подложки). В настоящей работе было исследовано влияние времени выдержки после пескоструйной обработки образцов из сплава ВТ6 на остаточные напряжения и адгезионную прочность покрытия из ВТ1-0. Образцы сплава ВТ6 были подвергнуты пескоструйной обработке в течение 2 мин. В качестве абразивных частиц применяли корунд Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Перед напылением образцы вылеживались от 15 мин до 30 суток. Проведенные исследования показали, что вылеживание образцов перед плазменным напылением в течение 4 часов немного снижает адгезионную прочность с 57 до 48 МПа. Наиболее резко адгезионная прочность падает после выдержки в течение суток (до 35 МПа), а затем мало изменяется. Так, вылеживание образцов после пескоструйной обработки в течение месяца мало изменило значение адгезионной прочности (34 МПа). Уменьшение адгезионной прочности покрытия и увеличение длительности перерыва между пескоструйной обработкой и напылением, несомненно, связано с потерей активированного состояния поверхностного слоя подложки.

Для косвенной оценки поверхностных напряжений после пескоструйной обработки были проведены специальные эксперименты. Одна из сторон листового образца сплава ВТ6 (длиной 62,2 мм; шириной 3,7 мм; толщиной 1,5 мм) была подвергнута пескоструйной обработке. После этого определяли прогиб образца на инструментальном микроскопе в зависимости от времени вылеживания:

Полученные результаты экспериментов показывают, что прогиб образца и, соответственно, уровень остаточных напряжений наиболее сильно уменьшаются в первые 24 часа, а затем стабилизируются.

## Керамокомпозиты и их технологии получения изделий из них

Сон Джин Ву

Научный руководитель – Бойцов. А.Г.

МАИ г. Москва

Выполнен анализ новых исследований в области создания и применения керамокомпозитов. Известно, что изделия из конструкционных и инструментальных керамик характеризуются высоким уровнем рабочих температур, прочностью при сжатии, стойкостью к окислению и воздействию агрессивных сред, однако являются хрупкими, что ограничивает их применение. Улучшение физико-механических характеристик керамики можно получить, армируя ее металлическими, углеродными и керамическими волокнами и частицами. Исследования в этой области привели к возникновению новой перспективной группы материалов - композиционных материалов на керамической матрице (ККМ), называемых керамокомпозитами.

В качестве наполнителей керамокомпозитов наиболее часто используют волокна из SiC, углерода, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, иногда металлическую проволоку, а в качестве матрицы - SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, AlN, другие керамики и их смеси дополнительно содержащие дисперсные частицы.

В докладе рассмотрены базовые технологии получения керамических волокон (из расплава, золь-гель метод, пропитка и термохимическая обработка волоконных материалов, термо-химическое (CVD) осаждение на углеродные волокна и вольфрамовую проволоку).

Для получения изделий из керамокомпозитов применяют методы порошковой металлургии с формованием изделий гидростатическим, изостатическим и горячим изостатическим прессованием, шликерным литьем. Композиты на основе дискретных наполнителей формуют традиционными для керамической промышленности методами: шликерным литьем или литьем под давлением, после чего заготовки подвергают термической и, в некоторых случаях, механической обработке.

Сложнопрофильные изделия из керамокомпозитов получают в закрытых формах на которые, предварительно, для предотвращения химического взаимодействия с матрицей наносятся покрытия. Введение матричного материала производится пропиткой пред керамическим полимером, золем или суспензией керамических частиц. Для композитов с матрицей SiC применяют осаждение из газовой фазы. Композиты с Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-матрицей можно получать методом «прямого окисления металла», в котором заготовку последовательно помещают в расплав алюминия и атмосферу кислорода.

Для производства деталей ГТД значительный интерес представляют керамокомпозиты системы SiC - SiC. Они применяются для изготовления элементов камер сгорания, турбин высокого и низкого давления, створок сопла (отражатели и заслонки газового потока, жаровые трубы, футеровка стенок камер сгорания, лопатки турбин, сопловые аппараты). Из композитов с оксидной матрицей изготавливают высокотемпературные газовых фильтров и теплообменники.

Для эффективного использованию керамокомпозитов требуется решение ряда проблем, связанных с их прочностью и особенностями взаимодействия между

матрицей и волокнами. С одной стороны оксидные волокна являются термодинамически устойчивыми к действию высоких температур, но имеют низкое сопротивление ползучести. С другой стороны неоксидные волокна типа SiC обладают приемлемым сопротивлением ползучести, но деградируют при длительном воздействии высоких температур в результате взаимодействия с матрицей. Это вызывает сложности в их использовании при температурах выше 1000°С.

## **Определение радиальных зазоров в лопаточных машинах авиационных ГТД на стадии проектирования**

Судас С.А.

Научный руководитель – Маликов С.Б.

МАИ, г. Москва

Авиация в современном мире является одной из стратегически важных отраслей промышленности. В течение нескольких последних лет наблюдается снижение конкурентоспособности российских ГТД, находящихся в эксплуатации. Это связано, в первую очередь, с несоответствием показателей экологичности уровню шума двигателя регламенту ИКАО (Международной Организации Гражданской Авиации). Эти несоответствия налагают запрет на использование Самолетов российского производства в странах-участниках данной организации. Неэффективная работа компрессора и турбины приводит к ухудшению условий работы камеры сгорания, неполному сгоранию топлива, и, как следствие, ухудшению экологических характеристик двигателя.

Выходом из сложившейся ситуации может стать развитие и модернизация имеющихся конструкций, и выпуск новых образцов ГТД. Это требует проведение большого объема научно-исследовательских работ, направленных на повышение эффективности работы отдельных узлов двигателя.

Одной из особенностей лопаточных машин ГТД является наличие между ротором и статором конструктивных зазоров, также называемых радиальными зазорами. Они выполняются для обеспечения возможности свободного вращения ротора относительно статора и исключения возможности их соприкосновения. Течения в радиальных зазорах не совершают полезной работы.

При проектировании двигателя, радиальный зазор выбирают на основании инженерного опыта, накопленного поколениями инженеров при разработке, или по результатам доводочных испытаний.

Несомненным преимуществом первой методики является её простота. Но данный метод имеет следующие недостатки: прежде всего, номенклатура конструкций лопаточных машин, приведенная в литературных источниках, является устаревшей, и не может быть использована при проектировании новых, современных конструкций; в ней не учитываются размеры отдельных деталей, их масса, свойства материалов, реально действующие температуры и давления.

Второй метод включает в себя доводочные испытания. Для этого используется опытный образец двигателя, натурная модель лопаточной машины или отдельной её ступени. Основным недостатком этого метода являются значительные затраты времени и средств на изготовление опытных образцов, аппаратуры, подготовку и проведение экспериментов. Затраты могут много-

кратно превышать экономический эффект, получаемый от доводки, по этой причине данный метод не всегда является экономически обоснованным.

Развитие электронно-вычислительной техники позволило применить методики расчетного определения величин радиальных зазоров, и произвести моделирование динамики радиального зазора. Разработанная методика была воплощена в виде программного обеспечения, и экспериментально опробована. Она учитывает: тепловые и силовые деформации конструкции (не только от центробежных, но и от газовых сил), условия теплообмена и охлаждения, наличия прирабатываемых поверхностей. Наиболее в разработке данной методики преуспели американские ученые под руководством J.A. Curugos'a. Этот метод не учитывает ползучесть материалов при высоких температурах и нагрузках, а также износа в замковых соединениях.

Методика расчетного определения радиального зазора, в перспективе позволяет экономить на доводочных испытаниях, связанных с определением радиального зазора, ускорить проектирование лопаточных машин, и обеспечить высокую точность.

### **Анализ конструктивно-технологических особенностей турбокомпрессоров для многорежимных силовых установок на примере АЛ-31Ф**

Судьин Д.Н.

Научный руководитель – Силуянова М.В.

МАИ, г. Москва

Турбокомпрессор газотурбинного двигателя - сложная газодинамическая система, характеристики которой во многом определяют облик и конкурентоспособность изделия. Он создается и совершенствуется в условиях ограничений по себестоимости, срокам создания, при растущих требованиях к ресурсу, статической и динамической прочности, газодинамической эффективности и др. Конструкция компрессора и турбины выполняется с учётом назначения двигателя и должна обеспечить получение заданных характеристик, при минимальной массе и сохранении прочности и жёсткости всех деталей, простоте и технологичности их изготовления эксплуатации и ремонта.

В данной работе рассмотрены конструктивно-технологические особенности турбокомпрессоров для многорежимных силовых установок на примере турбореактивного двухконтурного двигателя с форсажной камерой (ТРДДФ) АЛ-31Ф. ТРДДФ АЛ-31Ф, созданный в НПО «Сатурн» им. А.М.Люльки - первый в нашей стране двухконтурный двигатель, соответствующий по параметрам в своём классе высшим мировым достижениям. Это мощный и экономичный ТРДДФ модульной конструкции, состоит из 14 блоков. Отношение тяги к массе более 8. Двигатель состоит из 4-ступенчатого компрессора низкого давления с регулируемым входным направляющим аппаратом, промежуточного корпуса с центральной коробкой приводов, 9-ступенчатого компрессора высокого давления с регулируемой первой группой ступеней, наружного контура, кольцевой камеры сгорания, одноступенчатой охлаждаемой турбины высокого давления, одноступенчатой охлаждаемой турбины низкого давления с активным управлением радиальными зазорами,

компактной кольцевой камеры сгорания, форсажной камеры и сверхзвукового регулируемого сужающегося-расширяющегося реактивного сопла. АЛ-31Ф оснащен гидроэлектронной системой автоматического управления и топливопитания с электронным регулятором-ограничителем.

Основная особенность АЛ-31Ф - уникальные по механическим и эксплуатационным характеристикам лопатки турбины, изготовленные из жаропрочного сплава с монокристаллической структурой и имеющие эффективную систему охлаждения. Напряжённая термодинамика двигателя, высокая степень повышения давления и температура газов перед турбиной (1600-1700 К), компактная конструкция позволили получить высокую тягу при малой массе (двигатель дал выигрыш в массе самолёта на целых 2 т) и небольших габаритах и обеспечить высокую тяговооружённость самолёта.

АЛ-31Ф эксплуатируется в широком диапазоне высот и скоростей полета, устойчиво работает на режимах глубокого помпажа воздухозаборника на числа  $M=2$  в условиях плоского, прямого и перевернутого штопора. Системы ликвидации помпажа, автоматического запуска в полете, встречного запуска основной и форсажной камер обеспечивают надежность силовой установки при применении бортового оружия.

Модульная схема двигателя, как и другие оригинальные конструкторские решения, дают возможность простоты его эксплуатации и замены элементов в аэродромных условиях. Воплотив в себе самые передовые достижения науки и техники, АЛ-31Ф позволил самолету Су-27 стать одним из лучших в мире истребителей 4-го поколения.

Двигатель АЛ-31Ф стал для ОАО "УМПО" "Сатурн" настоящим технологическим прорывом, во многом определив судьбу предприятия и перспективы его развития. Его разработка начата в 1978 году, выпуск - с 1981 года. В 1990-начале 2000-х годов двигатель составлял основу производственной программы объединения. Именно большой экспортный потенциал АЛ-31Ф позволил ОАО "УМПО" выстоять в сложные годы российских реформ.

## **Исследование влияния магнитноимпульсной обработки на эрозионный износ**

Тармосин И.С.

Научный руководитель – Бабин С.В.

МАИ, Ступинский филиал

При эксплуатации изделий авиационной техники для некоторых элементов ресурс работы определяется внешней (или внутренней) эрозией. К таким деталям относятся носовые обтекатели самолетов, лопасти воздушных винтов самолетов и вентиляторов, судов на воздушной подушке, лопатки рабочих колес первой ступени компрессоров в ГТД.

В настоящей работе изучаются проблемы повышения эрозионной стойкости передней кромки лопастей воздушных винтов винтовентиляторов с помощью метода обработки импульсным магнитным полем. В работе изложены результаты исследований технологического применения обработки импульсным магнитным полем (ОИМП) образцов материала лопасти изготовленных из сплава Д1Ч.

Для исследования влияния ОИМП на эрозионную стойкость образцов применялся специальный промышленный стенд (разработка ОАО «НПП «Аэросила»). Стендроторного типа с 15 спицами ротора для размещения испытуемых образцов и 6 форсунками статора для подачи эрозионной пульпы. Испытуемые образцы и форсунки размещены в цилиндрической герметизируемой камере. Пульпа для испытания образцов на эрозию представляла собой 99 весовых частей воды и одну часть речного песка. С помощью форсунок струя пульпы совместно с транспортирующим воздухом направляется навстречу вращающимся образцам. Испытания проводились при следующих параметрах:

Давление пульпы в форсунке  $P=4 \cdot 10^5$  Па,

Температура пульпы  $T=299$  К,

Начальная скорость пульпы  $V=313$  м/с,

Частота вращения ротора  $n=3000$  об/мин,

Радиус установки образцов  $R=0,475$  м

Скорость пульпы относительно образца  $U=118$  м/с.

Образцы для испытаний вырезались из передней кромки лопасти воздушного винта. Анализ эрозионного уноса осуществлялся массометрическим методом. Взвешивания производили после 2, 6, 30 и 60 минут испытаний.

В проведенной серии экспериментов исследовалось влияние силы тока в соленоиде (напряженность магнитного поля) и числа импульсов при ОИМП при постоянной их длительности (0.2 с) на эрозионную стойкость образцов, которая определялась скоростью уноса материала образцов в единицу времени при различной длительности эрозионных испытаний.

При кратковременных испытаниях до 2-х минут. Скорость эрозии обработанных ОИМП образцов в 8...20 раз меньше, чем у необработанных.

При увеличении времени испытания эрозионный унос обработанных ОИМП образцов растет, а у необработанных убывает, но при достаточно длительных испытаниях (до 60 минут) скорость эрозии у обработанных ОИМП образцов становится ниже, чем у необработанных на 13...16%. Следует отметить, что повышение эрозионной стойкости обработанных ОИМП образцов имеет место при числе импульсов – 4.

### **Влияние плазмонапыленного покрытия из Ni3Al на усталостную прочность термически упрочняемых алюминиевых сплавов**

Томашевич А.М.

Научный руководитель – Бабин С.В., Фурсов А.А.

МАИ, Ступинский филиал

Известно, что применение различного рода покрытий, например, износостойких, позволяет повысить эксплуатационные свойства машиностроительных изделий в разы. Сочетание материалов с низкой удельной прочностью и износостойких покрытий позволяет получать детали пониженного веса без снижения эксплуатационных свойств конструкции. Что особенно важно в авиации.

В настоящей работе приводятся результаты исследования влияния плазмонапыленного покрытия из алюминид никеля на усталостную прочность

термически упрочняемых алюминиевых сплавов: Д1ч, Д16-АТ, АВ-Т1. Для усталостных испытаний использовались плоские образцы размером 120-20-4. Образцы покрывали по двум поверхностям (120-20) методом плазменного напыления порошка ПН70Ю30 различной толщины. В процессе напыления тепловое состояние образца контролировалось хромель-копелевой термопарой с обратной стороны. Напыление осуществляли с помощью установки УПУ-3Д. Усталостная прочность образцов определялась при консольном изгибе на вибростенде ВДЭС-200 при заданном напряжении цикла  $\pm 200$  Мпа. Оценивалось влияние на усталостную долговечность температуры образца в процессе напыления, пористости и толщины покрытия, а также величины остаточных напряжений в образце после напыления покрытия. Результаты испытаний показали, что в процессе напыления температура образца поднимается до 200°C и выше, что приводит к его разупрочнению и снижению усталостной прочности почти в 10 раз. Последующее искусственное старение позволяет повысить усталостную прочность 2-2,5 раза.

Процесс плазменного напыления алюминид никеля сопровождается внедрением расплавленных частиц порошка в поверхность металла, нагревом поверхности свыше 200°C, происходит в некотором роде отжиг, разупрочнение алюминиевого сплава и падение его усталостной прочности.

При искусственном старении образцов с покрытием из сплавов Д16 и Д1ч при 140°C размеры образца в первоначальный период уменьшаются, а затем начинают расти. Последнее объясняется распадом твердого раствора с выделением и коагуляцией упрочняющих фаз ( $\text{CuAl}_2$  и S). Искусственное старение приводит к повышению прочности сплава Д16. После искусственного старения сопротивление микропластическим деформациям и, следовательно, размерная стабильность дюралюминия намного выше, чем в отожженном состоянии после нанесения покрытия. Кроме того, увеличение размеров образцов после старения приводит к возникновению дополнительных сжимающих напряжений в поверхностном слое вследствие неизменности размеров покрытия из алюминид никеля. Это подтверждается тем фактом, что увеличение толщины покрытия приводит к увеличению усталостной прочности.

Источником разрушения при усталостных испытаниях является именно алюминиевый сплав, что подтверждено фотографическими исследованиями образцов в процессе усталостных испытаний.

Исследования показали, что предварительное наведение сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое образца методом дробеструйной обработки дает незначительное повышение усталостной прочности после плазменного напыления.

## **Проблемы вибраций при высокоскоростном фрезеровании в авиакосмической промышленности и способ их решения**

Топорков В.С.

Научный руководитель – Курицына В.В.

МАИ, г. Москва

При обработке заготовок высокая частота вращения шпинделя (10000–20000 об/мин и более), в большинстве случаев, сочетается с большими глубинами

резания и такая комбинация – приводит к возникновению новых негативных явлений, связанных с динамической нестабильностью процесса резания – вибрациями системы СПИД (станок – приспособление – инструмент – деталь).

Вибрации обусловлены колебаниями шпиндельной группы станка, включающей собственно шпиндель и приспособление с системой закрепления инструмента. Такие вибрации имеют небольшую амплитуду (порядка толщины стружки) и приводят к появлению «дробления» на обработанной поверхности. Они снижают качество обработки и ведут к преждевременному разрушению инструмента и подшипников шпинделя. Процесс фрезерования, на некоторых технологических параметрах обработки, часто сопровождается вибрациями инструмента. Для решения данной проблемы существует два способа их исключения. Первый – традиционный – позволяет опустить ниже границы возникновения вибраций, за счет уменьшения глубины фрезерования. При этом производительность обработки уменьшается. Второй – за счет изменения частоты вращения шпинделя переместиться в область локального максимума – зону стабильности. В результате возможно сохранение или даже заметное увеличение производительности обработки за счет увеличения глубины обработки по сравнению с исходным процессом фрезерования.

Для измерения вибрационных характеристик шпиндельной группы можно использовать систему аналогичную применяемой для измерения частотных характеристик авиационных конструкций. В ней для регистрации вибраций применяются акселерометры, закрепляемые в различных точках исследуемой конструкции, а колебания возбуждаются при помощи инструментальных пьезомолоточков, позволяющих измерять усилие воздействия и нормировать амплитуды колебаний. При измерении шпиндельной группы с инструментом акселерометр, закрепляется в зоне расположения режущих пластин на конце инструмента, а возбуждение колебаний выполняется ударом молоточка по инструменту с противоположной стороны.

Использование такой системы позволяет описать поведение шпиндельной группы передаточной функцией. Она может быть представлена в виде аппроксимирующей совокупности гармонических осцилляторов, что позволяет записать систему уравнений колебательного движения шпиндельной группы. Величины и изменение в циклическом процессе воздействия зубьев режущей части фрезы на заготовку определяются расчетно-экспериментальным путем. В результате строится граница, определяющая область стабильного фрезерования по технологическим параметрам обработки.

При возникновении вибраций в процессе обработки специальный анализ вибрационных характеристик шпиндельной группы станка с инструментом позволяет: провести корректировку режима обработки для устранения вибраций, повысить производительность и эффективность использования дорогостоящего оборудования.

## **Исследование анодного оксидирования изделий и деталей, изготовленных из алюминиевых сплавов**

Фомин А.Ю.

Научный руководитель – Курицына В.В.

МАИ, г. Москва

Изделия и детали из алюминиевых сплавов широко распространены в авиационной промышленности и изделиях специального назначения. Алюминий имеет свойства соединяться в естественной среде с кислородом, образуя при этом на своей поверхности защитную плёнку. Именно данный слой позволяет не окисляться металлу. Но подобный природный оксид способен повреждаться, потому что является очень тонким.

Эту проблему можно решить с помощью специального процесса анодирования, который помогает сделать металл более устойчивым и прочным к внешним факторам. Анодирование – процесс создания оксидной плёнки на поверхности некоторых металлов и сплавов путём их анодной поляризации в проводящей среде. После процедуры коррозия алюминию не грозит. Пленка, что образовывается в результате анодирования, отличается большой износостойкостью, потому что от обработанной детали она не отслаивается со временем.

Причем анодирование не является процессом нанесения защитного покрытия, как происходит при хромировании или цинковании. Защитная окисная пленка в этом случае формируется непосредственно из самого защищаемого металла.

Процесс анодирования обладает следующими преимуществами: после анодирования алюминиевый профиль приобретает большие защитные свойства; однородность и матовость поверхности металла; устранение всех повреждений (полос и царапин), которые возникают в результате повреждения; высокие декоративные качества; большая толщина защитного покрытия металла. Но при всех преимуществах, традиционный процесс анодирования является довольно дорогостоящим и затратным по времени.

С целью решения этих проблем, выгоднее применять метод микродугового оксидирования (МДО). МДО заключается в том, что при пропускании тока большой плотности через границу раздела металл-электролит создаются условия, когда на поверхности металла возникают микроплазменные разряды. В результате формируется слой покрытия, состоящий из окисленных форм элементов металла основы и составляющих электролита. В результате процесса МДО образуется покрытие, обладающее такими полезными свойствами, как износостойкость, коррозионная стойкость, теплостойкость и др.

По сравнению с методом традиционного анодирования, МДО обладает рядом преимуществ. Данный метод позволяет: снизить расходы на обновление электролита и его утилизацию, снизить число подготовительных операций (обезжиривание, травление, промывка), снизить затраты на электроэнергию, снизить время обработки деталей.

В современных самолетах алюминий применяется буквально повсюду: в фюзеляже, закрылках, конструкциях крыла и хвостовой части, крепежных системах, конструкциях выхлопных отверстий, блоков питания, заправочных шлангов, дверей и полов, каркасов пилотных и пассажирских сидений,

топливных разъемах, гидравлических системах, кабинных стойках, подшипниках, приборах в кабине пилотов, турбинах двигателей и много где еще. Те изделия, которые находятся во время своей работы в высокоскоростном потоке воздуха, под воздействием высоких температур и нагрузок нуждаются в защите от коррозии. Следовательно, на них следует наносить покрытие.

Наилучшим выбором покрытия для защиты изделий и деталей из алюминиевых сплавов от коррозии является МДО.

### **Разработка пневматической системы распыла топлива для малоэмиссионной камеры сгорания перспективного ГРДД**

Челебян О.Г.

Научный руководитель – Силуянова М.В.

МАИ, г. Москва

Одной из важнейших задач при разработке камеры сгорания для современных газотурбинных двигателей ГТД является снижение уровня эмиссии веществ, загрязняющих атмосферу. Основное внимание уделяется снижению в продуктах сгорания оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ), монооксида углерода (CO), несгоревших углеводородов (УНС) и снижению дымления (сажеобразования). Накладываемые в настоящий момент ограничения по экологическим характеристикам двигателей требуют мероприятий по увеличению расхода воздуха через головную часть жаровой труб и применения пневматических форсунок с предварительным смешением топлива с воздухом для улучшения гомогенизации смеси и снижения выбросов эмиссии. Однако повышение давления и температуры воздуха за компрессором в современных ГТД приводит к уменьшению габаритных размеров камер сгорания (КС), в частности, размеров фронтных устройств, что ограничивает возможный расход воздуха через форсунку и ведет к ухудшению эмиссионных характеристик.

В связи с изложенными выше требованиями, разработан фронтной модуль применительно к малоэмиссионной камере сгорания ГТД с пневматическим распыливанием топлива. Устройство спроектировано таким образом, чтобы обеспечить: увеличение доли воздуха подающегося через фронтное устройство, интенсификацию предварительного, высокоэффективного смешения топлива с воздухом, широкие пределы устойчивого горения на различных режимах работы двигателя.

Данное фронтное устройство состоит из центрального тангенциального завихрителя, в котором движется закрученный поток воздуха по осевому топливовоздушному каналу смешиваясь с топливными струями, периферийного лопаточного завихрителя, и внешнего тангенциального завихрителя. Топливный подвод спроектирован таким образом, чтобы распределять подающее топливо в соотношении 2:1 между периферийным и центральным топливовоздушным каналом распылителя. Внешний тангенциальный завихритель обеспечивает дополнительное смешивание частично подготовленной в осевом и периферийном канале топливовоздушную смесь.

Применение центрального тангенциального завихрителя позволяет увеличить степень закрутки потока и организовать на оси устройства стабильную зону обратных токов. Средний лопаточный завихритель с углом закрутки потока

550 обеспечивает распыл основного топлива до мелкодисперсного аэрозоля. Внешний тангенциальный завихритель исключает возможность выброса крупных капель на срез воздушного сопла и за внешнюю границу топливоздушного факела. Распределенный впрыск топлива по центральному и среднему воздушным каналам позволяет получить аэрозоль с более равномерным распределением концентрации топлива по сечению топливоздушного факела за срезом сопла.

Таким образом, по результатам проведенных экспериментальных исследований фронтальной системы пневматического распыла топлива установлено, что средний Заутеровский диаметр капель по всему сечению факела распыла на режимах запуска не превышает 65 мкм, а на максимальном 23 мкм. Аэрозоль обладающий указанными характеристиками позволяет получить высокую полноту сгорания ( $>0,99$ ) и индекс эмиссии  $\text{NO}_x < 2 \text{ г/кг}^* \cdot \text{т}$  при ТК на входе в камеру сгорания 600 К, что соответствует самым перспективным международным нормам для двигателей гражданской авиации.

## **Тепловые деформации станков и физико-технические эффекты**

Чиликин В.М.

Научный руководитель – Бойцов А.Г.

МАИ, г. Москва

Тепловые деформации (ТД) - тип деформаций, возникающий в результате образования тепла в зоне резания, работающих механизмах и под влиянием окружающей среды. При появлении ТД изменяются линейные размеры деталей, форма их поверхностей и взаимное расположение, как поверхностей деталей, так и расположение наиболее ответственных деталей станка - шпинделя, шпиндельной бабки, станины и др.

ТД узлов станка зависит от его конструкции, расположения и интенсивности источников тепловыделения, а также от условий теплоотвода. Все источники тепла по отношению к станку делятся на 2 вида: внешние и внутренние.

Для сохранения термостабильности, уменьшения количества ТД и повышения надёжности станка выявляются все источники теплообразования и определяются самые интенсивные из них. Устанавливаются причины интенсивного теплообразования и предпринимаются меры технологического и конструктивного характера для их устранения.

Существует такой способ представления ТД, как термоупругие физико-технические эффекты (ФТЭ). В общем представлении, физико-технические эффекты (ФТЭ) - это результаты воздействия одних физических объектов на другие, приводящие к изменению их определённых физических характеристик. В случае металлорежущего оборудования, ТД и изменение точности обработки в связи с ними являются результатами термоупругих ФТЭ.

На данный момент, ФТЭ, которые используются для уменьшения ТД станков и их влияния на точность станков, хорошо структурированы на основе исследований в области проектирования и эксплуатации обрабатывающего оборудования. Созданы и развиваются различные средства информационного обеспечения для проектирования и модернизации станков, содержащие информацию обо всех известных видах ФТЭ, такие как автоматизированный

справочник «ТЕРМОЕФ». Справочник в своей версии 2.0 содержит данные о 35 термоупругих ФТЭ. Особенностью этого программного продукта, в отличие от его аналогов, является структурирование данных о ФТЭ, не зависящее от конкретной детали или узла станка, и включающее в себя эффекты, связанные с тепловыделением не только в механизмах станка и окружающей среде, но и в зоне обработки.

Таким образом, применение термоупругих ФТЭ как инструмента, дающего возможность систематизировать ТД и методы их снижения, а также методы уменьшения влияния ТД на точность обработки имеет важное значение для проектирования современного металлорежущего оборудования, способного работать при различных режимах резания и температурных условиях окружающей среды. Помимо этого, научно-исследовательские работы в области мирового станкостроения продолжают постепенно увеличивать количество новых технических решений, которые возможно представить в виде ФТЭ.

### **Расчёт течения водородовоздушной смеси в канале, моделирующем камеру сгорания ГПВРД**

Шерстнева А.С.

Научный руководитель – Ильинская О.И.

МАИ, г. Москва

Расчеты газодинамики ГПВРД является особо важным этапом при проектировании летательного аппарата, так как их результаты служат для определения минимального продольного размеров двигателя (которые зависят от скорости выгорания топлива в двигателе), для поиска оптимальной геометрии двигателя, а также для определения тепловых потоков на стенки камеры сгорания.

Рассмотрим полет гиперзвукового аппарата на высоте порядка нескольких десятков километров. Будем считать, что аппарат летит со скоростью, соответствующей числу Маха  $M_0 = 14$  в разреженной атмосфере.

Аппарат оснащен гиперзвуковым прямоточным воздушно-реактивным двигателем, на вход в который попадает поток, сжатый и разогретый системой ударных волн.

Выбор приведенных параметров осуществлен таким образом, чтобы обеспечить сгорание существенной части водородовоздушной смеси внутри камеры сгорания двигателя, а не после выхода потока из нее.

Исходный участок ГПВРД будем моделировать плоским каналом, геометрия которого представлена. Двигатель имеет плоскую форму, полная длина двигателя составляет 140 см, толщина 17,7 см, длина камеры сгорания 100 см. Такая длина необходима, чтобы достаточная доля водорода успевала сгорать до выхода из камеры.

Рассмотрим структуру течения в камере сгорания. Ударные волны, порожденные стенками сужающегося канала перед входом в камеру, пересекаются в районе  $X = 50$  см. Со стороны форсунок основной поток поджимается впрыскиваемым топливом. На картине течения на входе в камеру сгорания видна вихревая структура течения в окрестности зон впрыска топлива. При  $X = 63$  см ударные волны отражаются от стенок, приводя к активному

перемешиванию с топливом. Далее эти ударные волны, потеряв значительную часть своей интенсивности, отражаются от стенок при  $X = 110$  см. Хорошее смешение воздуха с топливом наблюдается начиная с  $X=90$  см. Воспламенение начинается практически с точки падения ударных волн на стенки (при  $X = 63$  см).

Далее вниз по потоку распространение пламени определяется взаимодействием двух факторов: уровнем смещения топлива с воздухом и температуры газа. В центре канала температура достаточно высока, но концентрация водорода мала, поэтому интенсивность горения низкая.

Вблизи стенок ситуация обратная: температура низкая, концентрация воздуха ничтожна, и горения не наблюдается. Между этими двумя крайними случаями есть области, в которых достигается достаточный уровень смешения топлива и воздуха и при этом температура достаточна для горения (порядка 1500 К в начальный этап горения).

Повышение концентрации воды, в правой части камеры порядка составляет 20%, что говорит об удовлетворительной степени протекания реакции внутри камеры сгорания.

Разработана вычислительная модель течения вязкого многокомпонентной химически реагирующей газовой смеси. В рамках работы проведен расчет течения водородовоздушной смеси в канале, моделирующем участок ГПВРД.

Проведено исследование влияния химических реакций на газодинамический поток. Получены поля давления, температуры и концентраций компонентов смеси, на основе которых можно провести расчет излучения газа внутри двигателя.

Проведено исследование конвективного потока к стенкам ГПВРД. Полученные высокие значения плотности потока свидетельствуют о необходимости обеспечения надежной тепловой защиты стенок двигателя.

## **Технологии, применяемые для снижения уровня выбросов оксида азота газотурбинными двигателями**

Шишков В.А.

Научный руководитель – Силуянова М.В.

МАИ, г. Москва

Сжигание ископаемых топлив остается не только самым древним, но до сих пор и самым важным методом преобразования энергии. Несмотря на то, что на долю природных источников загрязнения воздуха приходится 93% оксидов азота, 50% соединений серы, а так же значительная доля оксида углерода, все же наибольшую опасность создают искусственные (антропогенные) источники загрязнения воздуха, связанные с процессами сжигания топлива. К авиационным газотурбинным двигателям (ГТД) предъявляются два противоречивых требования по выбросам загрязняющих веществ: очень высокая эффективность процесса горения на режиме «малый газ» и наименьшая мощность этого процесса. Первичная задача в этом случае - уменьшение выбросов несгоревших углеводородов (УНС).

Для решения задачи снижения уровня эмиссии загрязняющих веществ необходимо рассмотреть факторы, влияющие на их образование. В течение

многих лет внимание инженеров было сфокусировано на проектировании и развитии высокоэффективных камер сгорания, которые обладают большим ресурсом, и в которых реализованы относительно простые решения проблемы образования дыма.

Горение топлива в камере сгорания газотурбинного двигателя есть непрерывно текущий процесс, при котором углеводородное топливо сжигается при большом количестве избыточного воздуха. Загрязняющие вещества, появляющиеся на выходе, состоят из окислов азота ( $\text{NO}_x$ ), угарный газ (CO) и несгоревшие углеводороды (УНС). Присутствие серы в топливе приводит к появлению окислов серы ( $\text{SO}_x$ ), в наибольшем количестве выделяется  $\text{SO}_2$ . Скорость образования  $\text{NO}_x$  изменяется экспоненциально с изменением температуры пламени, поэтому ключевой момент в уменьшении  $\text{NO}_x$  - уменьшение температуры пламени. Физико-химические процессы, приводящие к образованию  $\text{NO}_x$ , обуславливают следующие практические методы для снижения выбросов  $\text{NO}_x$  в камерах сгорания ГТД:

- «Бедная» первичная зона. Обычно головная часть камеры сгорания конструируется таким образом, чтобы смесь в ней была стехиометрической.
- «Богатая» первичная зона. Избыток топлива, так же как и избыток воздуха снижает температуру пламени и, следовательно, выход  $\text{NO}_x$ .
- Гомогенизация горения. Улучшение перемешивания топлива и воздуха до начала процесса горения посредством лучшего распиливания и распределения топлива и увеличения перепада давления на жаровой трубе сделало бы более равномерной температуру пламени в зоне горения.
- Уменьшенное время пребывания. Выброс  $\text{NO}_x$  может быть снижен, если уменьшить время, в течение которого газ находится при высокой температуре.

Применение этих методов на практике приводит к следующим технологиям снижения уровня эмиссии  $\text{NO}_x$ :

- сжигание обедненных предварительно перемешанных топливоздушных смесей;
- сжигание по схеме «богатое горение - разбавление - бедное горение»;
- впрыск в камеру сгорания воды или пара;
- применение каталитических нейтрализаторов для очистки выхлопных газов;
- каталитическое горение.

Рассмотренные методы и технологии наиболее эффективно снижают уровень выбросов газотурбинными двигателями как оксида азота, так и несгоревших углеводородов в целом.

## **Обоснование выбора технологического оснащения операции обработки маложестких деталей**

Шмаков И.В.

Научный руководитель – Юрин В.Н.

МАИ, г. Москва

Качество реализации технологических процессов изготовления деталей авиационной и ракетной техники во многом определяется применяемой оснасткой.

Настоящая работа посвящена анализу альтернативных решений при выборе технологического оснащения операции размерной обработки детали «Консоль», изготавливаемой на базовом предприятии. Основная задача проведения анализа – выбор оптимального варианта приспособления для фрезерования упомянутой детали. Особенностью проведения данного анализа является сложность геометрической конструкции детали, обусловленная наличием тонкостенного фасонного элемента относительно большой длины, затрудняющего базирование детали при выполнении операции.

Для решения поставленной задачи применен метод индивидуальных экспертных оценок по методике работы [1]: на основании ряда особенностей обрабатываемой детали формируется множество альтернативных решений, выделяются критерии их оценки, шкала оценки и решающее правило, которое в итоге позволит принять решение.

В качестве альтернатив выбраны варианты, отличающиеся базированием и закреплением заготовки с использованием:

- универсальной оснастки (тисков);
- специального ложемента;
- оснастки, изготовленной на основе сплава Вуда.

На основании анализа преимуществ и недостатков рассматриваемых вариантов выработаны критерии их оценки:

- жесткость закрепления заготовки;
- точность базирования заготовки;
- быстродействие приспособления;
- стоимость изготовления приспособления;
- переналаживаемость приспособления;
- трудоёмкость эксплуатации приспособления;
- экологичность.

По результатам экспертного оценивания определено решение, наиболее полно удовлетворяющее заданным требованиям (критериям): для рассмотренной операции обработки следует изготовить оснастку с использованием сплава Вуда (вариант В).

Применение вариантного проектирования и системного подхода к анализу альтернатив обеспечивает повышение качества объектов проектирования, вырабатывает навыки обоснованного выбора технических решений.

Литература

Альбом технологической оснастки для станков с ЧПУ в авиадвигателестроении. Учебное пособие. Ч.1. Станочные приспособления для станков с ЧПУ в авиадвигателестроении./В.Ф. Безъязычный, В.Д. Корнеев, В.Н.

## **Проблема профилирования плоских искривленных реактивных сопел в условиях ограниченных габаритов**

Шпагин В.П.

Научный руководитель – Силуянова М.В.

МАИ, г. Москва

Реактивные сопла занимают важное место в комплексе проблем разработки перспективных летательных аппаратов (ЛА). Проведенный при работе анализ существующих решений показал, что с точки зрения расширения возможностей современного ЛА важными являются следующие проблемы:

- Решением представленных выше проблем может послужить применение плоских реактивных сопел. В качестве преимуществ плоских сопел можно отметить:
  - меньшую заметность плоских сопел (в ИК- и РЛ- диапазонах) и соответствующее снижение уязвимости самолета;
  - улучшение тяговых характеристик самолета за счет оптимальной интеграции силовой установки в планер (при этом само плоское сопло тяжелее и может иметь большие потери, чем осесимметричное);
  - возможность использования эффекта «суперциркуляции».

Если говорить о проблеме снижения заметности ЛА в задней полусфере, то в качестве наиболее очевидного решения, как правило, рассматривается вариант с плоским S-образным каналом сопла. При этом для реализации подобной конструкции требуются значительные габариты. Зачастую доступный диапазон искривления бывает сильно ограничен, и появляется необходимость применения более сложных методов. К ним можно отнести интегрирование в канал сопла дефлекторов специальной формы, позволяющих скрыть проблемные части двигателя при меньшей кривизне ВУ. Подобный случай рассмотрен далее.

В рамках проведенных исследований нами было спрофилировано дозвуковое сопло с полным блокированием видимости горячих частей двигателя. Такого эффекта удалось достичь благодаря незначительному искривлению проточной части канала и интеграции в него специальным образом искривленных дефлекторов. Изогнутые части дефлекторов, в целях сохранения постоянной площади поперечного сечения по длине, образованы концентрическими окружностями. Радиусы окружностей меняются с шагом, соответствующим расстоянию между дефлекторами. При этом закон изменения площадей между дефлекторами по всей длине, за исключением мест искривления, где площадь поперечного сечения постоянна, задан линейным.

Основываясь на результатах проведенного численного моделирования течения воздуха в рассматриваемом канале, выполненного с помощью программного комплекса ANSYS/CFX, можно сделать вывод о возможности профилирования безотрывного плоского малозаметного сопла с применением предлагаемого способа интеграции в канал дефлекторов. При этом коэффициент скорости сопла, выбранный нами в качестве основного критерия оценки потерь в выходном устройстве, в рассмотренном случае уменьшился в пределах 5 % (по

сравнению подобным плоским соплом без дефлекторов и искривления), а поля давления и скорости на выходе остаются равномерными. Полученные результаты позволяют говорить о возможности применения рассматриваемого способа при профилировании малозаметных выходных устройств в условиях ограниченных габаритов.

## **Перспектива применения зубчатых передач с несимметричными профилями зубцов, торцевых шлиц *curvic* и *hirth* в авиакосмической промышленности**

Эминов А.Г.

Научный руководитель – Курицына В.В.

МАИ, г. Москва

С развитием общего и специального машиностроения роль зубчатых передач, трансформирующих механическую энергию по частоте вращения и передаваемым нагрузкам, всё более и более возрастает. При этом особенно увеличивается потребность высокоскоростных и тяжелонагруженных передачах, характеризующихся снижением уровня вибрации и шума.

Традиционные зубчатые передачи с линейным зацеплением эвольвентных зубьев действительно не могут в полном объеме соответствовать вышеуказанным требованиям, в связи с чем стоит актуальный вопрос изучения и применения новых видов зацепления. Повышение несущей способности, ресурса и надежности авиационных зубчатых передач путем улучшения или изменения их геометрии.

Зубчатые передачи с несимметричными профилями зубцов – наиболее общий тип цилиндрических эвольвентных зубчатых передач. Прежде всего можно значительно повлиять на геометрические параметры зацепления: при необходимости увеличить угол зацепления; повысить коэффициент перекрытия; уменьшить удельное скольжение профилей, а между зубцами впадины вписать более пологую переходную кривую и таким образом спроектировать зубцы с наименьшей концентрацией напряжений у основания.

Торцевые шлицы применяются двух видов типа *Hirth*, и типа *Curvic*. Исторически были разработаны для сборки коленчатых валов судовых двигателей большой мощности на транспортных судах типа Либерти.

Применяются взамен соединения и центрирования роторов ГТД на призонных болтах, позволяют передавать высокий крутящий момент с центрированием. Кроме того, с переустановкой возможно компенсировать геометрические погрешности и регулировать, либо снижать дисбаланс. Данные виды шлиц друг от друга отличаются технологически. Для изготовления шлиц типа *Hirth* до недавнего времени применялось только специализированное оборудование. Тогда как изготовление шлиц типа *Curvic* осуществлялось на серийных станках для обработки конических станков с круговой формой зубьев, как зуборезных, так и зубошлифовальных. С появлением многокоординатных станков появилась возможность при мелкосерийном производстве изготавливать торцевые шлицы на них. Шлицы *Hirth* имеют равномерно понижающийся зуб, в то время как шлицы *Curvic* равновысокие. Так же отличаются формой боковых поверхностей, у *Hirth* она прямолинейная, а у *Curvic* с круговой формой зуба. В настоящее время на предприятии АО «ФГУП НПП Газотурбостроения «Салют» проектируется ряд двигателей с применением торцевых шлиц *Curvic*.

## **СЕКЦИЯ № 44. Аэродинамика, динамика авиационных ЛА**

Руководитель секции: к.ф.-м.н., доцент Попов С.А.

---

### **Управление течением пограничного слоя для увеличения безопасности полётов**

Белевцов В.А., Сыроватников Н.А., Борисевич А.Н.

Научный руководитель – Матвеевко А.М.

МАИ, г. Москва

Приземление самолета – самый сложный и ответственный этап полета. Для приземления требуется соответствующая длина взлетно-посадочной полосы и мастерство пилота. Основной идеей проекта стало уменьшение посадочной скорости самолета для минимизации рисков посадки.

Условием полета является превышение подъемной силой веса самолета. В случае с классическим крылом подъемная сила квадратично зависит от скорости. Это значит что при скорости ниже минимальной самолет рухнет. В результате, проектом была разработана и испытана конструкция, позволяющую увеличивать подъемную силу в процессе полета для снижения минимальной полетной скорости. В ходе исследования было изучено влияние различных факторов на подъемную силу. Увеличение подъемной силы достигается за счет встраивания в крыло принудительно вращающегося цилиндра. В ходе исследования были определены оптимальные сочетания размеров цилиндра, его положения в крыле и скорости вращения. Были предложены и опробованы конструкции для увеличения эффективности такой системы.

В ходе исследования были опробованы различные конструкции установки цилиндра в крыло. Над наиболее удачными конструкциями были проведены качественные эксперименты, которые и доказали эффективность предложенной системы. Вторым этапом исследования стала теоретическая модель и визуализация пограничного слоя. Далее нами была проведена серия экспериментов в аэродинамической трубе. В результате мы стали обладать достаточным количеством данных для проектирования и постройки ДПЛА с применением предложенной системы. Как дополнение к системе управления пограничным слоем мы реализовали электронную систему стабилизации облегчающую посадку нашей модели.

В результате проведенной работы была разработана и опробована конструкция, позволяющая увеличить подъемную силу на испытываемой модели на 32% и, как следствие, уменьшить скорость и сократить дистанцию свободного пробега. Проектом представлены этапы от идеи, опытного исследования, до построения действующей модели прототипа и проведения её летных испытаний. Данный тип крыла может быть применен на беспилотных летательных аппаратах и самолетах, имеющих ограниченные возможности взлета и посадки. В дальнейшем, я думаю, подобная конструкция позволит создать новый класс летательных аппаратов, быстрых как самолеты и простых в посадке как вертолеты.

**Управление сверхзвуковыми самолётами**  
Борисова В.А., Величенкова А.С., Хуцишвили Н.Д.  
Научный руководитель – Маркин Н.Н.  
МАИ, г. Москва

Здесь излагается причины изменения нормальных характеристик устойчивости и управляемости самолета на сверхзвуковых скоростях и рассматривает аэродинамические способы улучшения этих характеристик.

Описаны конструкции и схемы систем управления современных сверхзвуковых самолетов. А также будет рассматриваться аварийно-спасательные средства сверхзвуковых самолетов.

За последнее десятилетие авиационная техника развивалась невиданными темпами. Если за 50 лет развития авиации, прошедшие с начала XX века, серийные самолеты достигли скоростей порядка 1000 км/час и высот около 16 км, то теперь уже не кажутся неправдоподобными скорости, в 2–2,5 раза превышающие скорость звука, и высоты 25–30 км и более. Некоторые экспериментальные самолеты с жидкостными реактивными двигателями по данным зарубежной печати летают на значительно больших скоростях и высотах.

Однако, создание летательного аппарата и, в частности, самолета невозможно без разрешения двух проблем:

- обеспечения необходимой тяги для преодоления сопротивления и тяготения;
- обеспечения эффективного управления положением аппарата относительно центра тяжести и траекторией полета.

Цель работы

Найти решение проблемы обеспечения устойчивости и управляемости сверхзвуковых самолетов двумя путями: путем изменения схем и аэродинамических параметров самолета и его органов управления, а также путем совершенствования и автоматизации систем ручного управления с целью создания приемлемых для летчиков характеристик управляемости.

Базовые положения исследования

Управление сверхзвуковыми самолетами включает: описание явлений самолетов и их схем, звуковой и тепловой барьер, система активного управления, аварийно-спасательные сверхзвуковых самолетов.

**Численное исследование параметров обтекания  
и аэродинамических характеристик тела вращения со щитком**

Власов О.Ю.  
Научный руководитель – Семенчиков Н.В.  
МАИ, г. Москва

Для управления аэродинамическими характеристиками тел вращения используются различные способы и устройства, изменяющие структуру течения и параметры потока в окрестности тела.

Широкое распространение получили методы, основанные на применении для этой цели различных надстроек и щитков. Обтекание щитка, установленного на

теле, происходит с отрывом потока, как перед ним, так и за ним. Под влиянием щитка перераспределяются давление и силы трения по поверхности тела, вследствие чего изменяются локальные и интегральные аэродинамические силы и моменты, действующие на тело. При сверхзвуковых скоростях взаимодействие ударных волн и отрывных течений вязкого газа определяет сложность и многообразие встречающихся на практике явлений при обтекании тел со щитками. Это требует детального изучения структур течения, исследования отдельных их областей (отрыв, смешение, присоединение, возвратное течение). В настоящее время для этого предпочтительно использовать численные сеточные методы, в рамках которых решаются конечно-разностные аналоги системы уравнений Навье-Стокса. Они дают наибольший объем информации, необходимый для решения указанной задачи.

Целью данной работы было определение эффективности управления процессами обтекания тела вращения – конуса с установленным вблизи его донного среза аэродинамическим щитком (интерцептором). Для решения задачи использовались осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса, замкнутые моделью турбулентности  $k-\varepsilon$ , и метод конечных объемов. Реализация данного подхода осуществлена с помощью программного комплекса ANSYS Fluent 14.5 (номер лицензии 670351).

В результате численных исследований выявлены особенности структур течения в окрестности конуса со щитком и без щитка, получены аэродинамические характеристики конуса с установленным на нём щитком и конуса без щитка. Данные получены для до-, транс- и сверхзвуковых скоростей набегающего на конус потока.

Найдено, что обтекание системы конус-щиток носит сложный, пространственный характер, а параметры потока в возникающих на конусе отрывных зонах существенно отличаются от аналогичных параметров в случае двухмерного отрыва.

Проведена верификация использованного численного метода и программного комплекса. Сравнение результатов численных расчетов с экспериментальными данными показало, что использование сеточных методов позволяет получить удовлетворительное совпадение распределения давления по поверхности конуса без щитка. В случае конуса с установленным на нем щитком сравнение распределения давления по конусу, полученного в расчете с экспериментальными данными, показало, что сеточный метод позволяет предсказывать характерный «провал» в распределении давления в зоне отрыва. Таким образом, можно сказать, что в численном расчете правильно предсказывается структура течения в случае отрывных явлений, и данный подход может быть использован для оценки влияния выдвинутого щитка на перераспределение давления на поверхности тела вращения в зависимости от числа Маха набегающего потока.

## **Исследование возможности гироскопической стабилизации баллистического объекта**

Елисеев П.А.

Научный руководитель – Дехтяр Д.А.

ТулГУ, г. Тула

Целью работы является исследование возможности гироскопической стабилизации баллистического объекта.

Баллистический объект в полете стабилизируется аэродинамическим способом, для обеспечения которого он имеет оперение, переносящее центр давления аэродинамических сил за центр масс. Недостатком такого решения является уменьшение полезного объема баллистического тела. Объект, который приобретает вращение при наборе скорости, имеет обтюрирующий пояс, который врезается в винтовые нарезки направляющей и при движении объекта придается необходимая скорость закручивания, обеспечивающая гироскопическую стабилизацию в полете. Данный способ более сложен в реализации и имеет меньший ресурс, к тому же часть энергии газов расходуется на закрутку, это является недостатками в этом случае.

Предлагается схема баллистического объекта, без изменения его полезного объема, который в полете мог бы быть закручен для обеспечения гироскопической стабилизации. Для этого на кормовой части объекта предлагается установить турбину, которая под действием набегающего потока воздуха будет раскручивать тело. Роль турбины будет выполнять косопоставленные под определенным углом лопасти. К тому же такая турбина будет оттягивать центр давления к корме объекта.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- разработать схему баллистического объекта с кормовой турбиной;
- построить объемную твердотельную модель объекта;
- определить воздействие воздушного потока на тело в полете, вычислить крутящий момент турбины и возможную скорость вращения тела.

Для расчета воздействия воздушного потока на лопасти турбины использовался готовый программный продукт, моделирующий трехмерное течение газа, метод расчета заложенный в комплекс – метод конечных объемов.

В ходе исследования варьировались углы расположения лопаток и их количество, а так же расположение и количество их рядов. Для исключения «запирания» воздушного потока между лопатками было решено разбить их на несколько рядов. Для лучшего обтекания лопаткам была придана стреловидность. Анализ расчетов обтекания турбин различной конструкции показали, что скорость вращения такого баллистического тела далека от необходимой для обеспечения гироскопической стабилизации.

Предложенная схема тела не обеспечивает должной скорости вращения, при которой он был бы стабилизирован. Стало ясно, что объект должен приобретать необходимую скорость вращения еще в начальный момент движения.

В настоящее время проводится разработка схемного решения для обеспечения закрутки объекта на этапе разгона за счет энергии баллистического двигателя. Проводятся необходимые внутриваллистические расчеты и определяются параметры конструктивных элементов. После выхода

приобретенную скорость вращения можно поддерживать или даже несколько увеличить с помощью предложенной турбины на кормовой части объекта, тем самым возможно будет обеспечить гироскопическую стабилизацию.

### **Исследование методов оптимизации, используемые для решения задач в динамике полёта и аэродинамике**

Ефремов Е.В., Золотарёв А.Ю.

Научный руководитель – Маркин Н.Н.

МАИ, г. Москва

Термином «оптимизация» в литературе обозначают процесс или последовательность операций, позволяющих получить уточнённое решение. Хотя конечной целью оптимизации является отыскание наилучшего, или «оптимального», решения, обычно приходится довольствоваться улучшением известных решений, а не доведением их до совершенства. Поэтому под оптимизацией понимают скорее стремление к совершенству, которое, возможно, и не будет достигнуто.

Методы оптимизации позволяют выбрать наилучший вариант конструкции из всех возможных вариантов. В последние годы этим методам уделялось большое внимание, и в результате был разработан целый ряд высокоэффективных алгоритмов, позволяющих найти оптимальный вариант конструкции при помощи ЭВМ.

В аэродинамике и динамике полёта огромное количество зависимостей, требующих решение задачи оптимизации. При решении конкретной задачи оптимизации исследователь прежде всего должен выбрать математический метод, который приводил бы к конечным результатам с наименьшими затратами на вычисления или же давал возможность получить наибольший объем информации об искомом решении. Выбор того или иного метода в значительной степени определяется постановкой оптимальной задачи, а также используемой математической моделью объекта оптимизации. В данной работе, в качестве примера, рассмотрен сравнительный анализ методов парабол и касательных одномерной оптимизации.

### **Вывод самолёта из критического режима полёта**

Карасева Я.С.

Научный руководитель – Маркин Н.Н.

МАИ, г. Москва

Критические режимы полета – это превышение самолета определенных критических параметров. При попадании в такой режим требуется определенная техника пилотирования на эксплуатационных режимах.

К критическим режимам и явлениям в полете относятся: штопор, парашютирование, инерционное вращение самолета, флаттер частей самолета, «подхват», «валежка» самолета, реверс элеронов и другие явления, обуславливающие аварийную ситуацию.

Полеты на критических режимах осуществляются вне диапазона эксплуатационных скоростей, углов атаки или угловых скоростей вращения самолета и категорически запрещаются, если это не предусмотрено заданием.

Преднамеренное и непреднамеренное попадание в эти режимы имеет для летчика свои психологические особенности.

При возникновении угрозы безопасности полета руководитель полетов должен, используя свой опыт, знание авиационной техники и документов, регламентирующих летную службу, быстро уяснить обстановку в воздухе и на земле, оценить степень опасности, в соответствии с этим принять решение и добиться его выполнения.

Все катастрофы, связанные с попаданием самолета в сложное пространственное положение (СПП) и режимы сваливания, объединены общей причинно-следственной связью: неготовностью (в том числе и психологической) экипажей гражданской авиации к распознаванию начала развития опасной ситуации и к действиям, необходимым для вывода воздушного судна из подобных ситуаций. Сложное пространственное положение – это такое положение самолета в пространстве, когда его тангаж выше  $+25^\circ$  или ниже  $-10^\circ$  либо или крен превышает  $45^\circ$ . Нормальное эксплуатационное пространственное положение самолета находится в пределах всего лишь 10–13% от возможных значений ( $90^\circ$  тангаж и  $180^\circ$  крен). Коммерческие пилоты подготовлены к управлению ВС на максимум 20–25% от этих значений (тангаж  $-10^\circ \dots +30^\circ$ , крен 0– $45^\circ$ ). Но фактически при попадании ВС в сложное пространственное положение пределы, к которым подготовлены пилоты, значительно превышаются. Как правило, попадание самолета в СПП приводит к выходу самолета за ограничения по скорости полета и перегрузке.

Анализ действий экипажей воздушных судов, потерпевших катастрофу, часто свидетельствует о том, что пилоты не осознают опасности при приближении к критическому режиму полета, а попав в такой режим, не в состоянии его правильно распознать и тем более предпринять необходимые действия по выходу из него. Вместе с тем анализ этих происшествий показывает, что при правильных действиях пилотов в большинстве случаев из этих ситуаций самолеты выводятся. Кроме того, при наличии соответствующей теоретической и практической подготовки можно было бы вообще избежать попадания в такие ситуации.

Возникает проблема: гражданские самолеты периодически (и довольно часто!) по разным причинам попадают в такие критические режимы, и вывести их из этих режимов в абсолютном большинстве случаев пилоты из-за своих неправильных действий оказываются не в состоянии. Очевидно, что для решения этой проблемы надо пилотов обучить: что такое критические режимы, как избежать попадания в эти режимы, как из этих режимов безопасно вывести самолет.

## Машинный расчёт аэродинамических коэффициентов на примере самолёта СУ-49

Константинов И.А.

Научный руководитель – Маркин Н.Н.

МАИ, г. Москва

На сегодняшний день воцарил век информационных технологий, а значит, именно в это время, как-никогда ранее, актуальна проблема быстрого и точного расчета тех или иных данных. Технологические задачи требуют от вычислительных комплексов все большей точности, скорости и универсальности. Авиационная сфера – не исключение. Перед авиацией ежедневно ставится множество задач, которые рассматриваются на всех стадиях проектирования, производства или эксплуатации аппарата.

В работе ставится задача исследования зарекомендовавшего себя программного обеспечения, используемого как при проектировании летательного аппарата, так и при оценке его эксплуатации. В ходе выполнения работы будут получены: результаты расчета аэродинамических коэффициентов для компоновки под заданным углом атаки, или под заданными углами атаки и скольжения, с учетом деформации срединной поверхности (из-за крутки) и наличия профилей; результаты расчета производных аэродинамических коэффициентов по углу атаки  $\alpha$ ; результаты расчета производных аэродинамических коэффициентов по углу отклонения органа управления  $\delta$  (симметричный случай) и построение графиков зависимости между ними для самолета СУ-49.

Основной гипотезой построения математической среды является «Панельный метод Вудварда». В последнее время метод получил достаточно большое распространение, так как в отличие от метода несущей поверхности он учитывает толщину крыла и фюзеляжа. В отличие от метода несущей поверхности, где в каждую панель помещается «П-образный» вихрь, в методе «Вудварда»- вихревой слой представляется кусочно- непрерывной линейной функцией. Это достигается суперпозицией линейно изменяющийся плотностей циркуляции. Этот метод позволяет проводить расчеты для комбинации крыло-фюзеляж- оперение. Метод работает как при дозвуковых скоростях, так и на сверхзвуковых скоростях. Аналитические расчеты этим методом являются достаточно труднительными, и как следствие, пригодны исключительно для вычислительной техники. В работе будет проведен анализ метода, и анализ полученных данных.

В качестве метода проектирования будет использована математическая среда FORTRAN(ФОРТРАН) в оболочке DELFI(ДЭЛФИ). Исходными данными для построения модели являются геометрические размеры летательного аппарата, с учетом всех отклоняемых поверхностей и параметры потока.

По завершении исследования было получено, что метод актуален и по сей день. С помощью данного программного обеспечения можно получать достоверные данные об аэродинамических коэффициентах и производных от них.

## **Исследования по совершенствованию аэродинамики взлётно-посадочной механизации крыла пассажирского самолёта**

Кострубин В.А.

Научный руководитель – Маркин Н.Н.

МАИ, г. Москва

Одной из важнейших задач, решаемых в процессе проектирования самолета, является разработка эффективных систем увеличения подъемной силы крыла на режимах взлета и посадки. Именно они часто определяют площадь крыла и влияют, таким образом, на облик всего самолета. Высокие несущие свойства позволяют повысить экономическую привлекательность самолета в эксплуатации: увеличить взлетный вес и вес полезной нагрузки, а также расширить диапазон используемых ВПП.

Ранее эффективность механизации магистральных самолетов традиционно повышалась за счет увеличения числа конструктивных элементов. В настоящее время существует устойчивая тенденция к упрощению взлетно-посадочной механизации и уменьшению количества звеньев при сохранении общей эффективности. Как правило, при выборе механизации задней кромки ограничиваются одно- или двухщелевыми выдвижными закрылками. Типичными устройствами для механизации передней кромки являются предкрылки и щитки Крюгера.

Несмотря на существенное развитие вычислительных методов в последнее время, расчет полной компоновки самолета, включающей взлетно-посадочную механизацию, мотогондолы двигателей и малоразмерные элементы, влияющие на местную аэродинамику крыла, остается сложной задачей, требующей больших временных затрат на построение сеток и получение характеристик течения. Поэтому расчеты полных компоновок и соответствующие аэродинамические эксперименты используются в основном для оценки характеристик итоговых вариантов компоновки, в то время как проектирование аэродинамической механизации основано на расчетах двумерных или упрощенных трехмерных конфигураций.

В настоящей работе изложены материалы экспериментальных исследований по улучшению местной аэродинамики механизированного крыла перспективного пассажирского самолета. Анализ особенностей обтекания осуществлялся как при помощи весовых испытаний при разных числах Рейнольдса, так и путем визуализации течения методом мини-шелковинок. Выполненные доработки позволили существенно повысить эффективность механизации и обеспечить заданный уровень несущих свойств.

Приведенные данные будут представлять интерес не только для инженеров, перед которыми стоят практические задачи по аэродинамическому проектированию механизированных крыльев, но и для специалистов, проводящих расчетные исследования аэродинамики взлетно-посадочной механизации крыла.

## Оценка эффекта установки аэродинамического гребня на хвостовую балку среднего транспортного вертолѐта одновинтовой схемы

Матыцин А.В.

Научные руководители – Артамонов Б.Л., Бархатов В.В.

АО «МВЗ им. М.Л. Миля», г. Москва

Эффекты аэродинамического гребня:

- создание дополнительной боковой силы на хвостовой балке, совпадающей по направлению с силой тяги рулевого винта;
- увеличение запасов управления вертолета по курсу при полете на малых скоростях, а также на больших высотах при максимальной взлетной массе;
- увеличение управляемости вертолета по рысканию;
- увеличение скорости набора высоты;
- улучшение устойчивости вертолета на режиме висения;
- снижение усталостной повреждаемости кия и килевыхшайб;
- увеличение срока службы шарниров втулки рулевого винта, тяг и качалок системы управления.

Цель работы:

- разработать методику расчета боковой силы, возникающей на хвостовой балке конической формы за счет установки на нем аэродинамического гребня произвольной геометрии;
- оценить потребные углы установки лопастей рулевого винта для компенсации реактивного момента, создаваемого несущим винтом вертолета на режимах осевого обтекания.

Решаемые задачи:

- Экспериментальное исследование аэродинамических характеристик цилиндра с произвольно расположенным на нем гребнем при различных скоростях обтекания невозмущенным потоком.
- Разработка алгоритма расчета аэродинамических сил и моментов, возникающих на хвостовой балке конической формы в поле индуктивных скоростей несущего винта.
- Расчет индуктивных скоростей в плоскости диска несущего винта и в плоскости хвостовой балки
- Расчет силы тяги и крутящего момента на валу несущего винта при заданном угле установки лопастей
- Расчет аэродинамических характеристик рулевого винта и определение потребного коэффициент тяги  $St_{rv}$  и угла установки лопасти  $\varphi_{7rv}$  для компенсации реактивного момента.

С помощью этого мы сможем оценить эффект установки аэродинамического гребня на хвостовой балке Ми-38.

Предложенная методика дает возможность достоверно оценить эффект увеличения боковой силы хвостовой балки за счет установки аэродинамического гребня на осевых режимах работы винта не только для данного вертолета Ми-38 ОП-2, а для вертолетов с различными геометрическими характеристиками.

## **Методика статистического моделирования расчётных случаев для оценки уровня лётной годности самолётов на этапе взлёта**

Моторыгин Д.Е.

Научный руководитель – Бехтина Н.Б.

МГТУ ГА, г. Москва

Одной из основных задач при сертификации самолета является оценка уровня его лётной годности. В наиболее общем случае эта оценка предполагает определение вероятности того, что в полете не возникнет аварийная или катастрофическая ситуация. На практике более удобной является обратная ей величина – вероятность возникновения этих – ситуаций, которая и принимается в качестве количественного критерия уровня лётной годности самолета.

Вычисление количественных характеристик уровня лётной годности может быть выполнено только на основе статистико-вероятностных исследований различных особых ситуаций.

Одной из проблем при разработке методики такой оценки является необходимость определения чрезвычайно малых вероятностей; вместе с тем получаемые оценки вероятностей должны обладать высокой степенью достоверности. Вероятностные исследования должны осуществляться во всем диапазоне ожидаемых условий эксплуатации.

В предлагаемой методике в качестве первого шага предлагается принцип подтверждения лётной годности, заключающийся в проверке последствий системы типовых (расчетных) случаев только вблизи границ области ожидаемых условий. Статистико-вероятностная оценка уровня лётной годности может рассматриваться как расширение и обобщение такого подхода.

Базой для определения уровня лётной годности должно служить статистическое моделирование системы расчетных случаев и определение с его помощью как детерминированных критериев для подтверждения лётной годности, так и вероятностей возникновения регламентированных нормами лётной годности особых ситуаций.

При использовании принципа подтверждения лётной годности не требуется вычислять вероятности для каждого расчетного случая во всем диапазоне ожидаемых условий эксплуатации. Возможности выхода критических характеристик за допустимые пределы оцениваются только вблизи границ ожидаемых условий.

Лётная годность считается подтвержденной, если для реализуемого расчетного случая ни одна из критических характеристик самолета не выходит за допустимые пределы.

Методика статистического моделирования обеспечивает возможность проводить как статистико-вероятностную, так и детерминированную оценку последствий отказов и возмущений. Методика предусматривает отдельное исследование каждого расчетного случая, что обусловлено тем, что уравнения движения для расчетных случаев могут существенно отличаться как учитываемыми факторами, так и коэффициентами их влияния на характеристики взлета.

Разработанная методика моделирования позволяет проводить как статистико-вероятностные, так и детерминированные исследования характеристик

продольного движения самолета при нормальном, продолженном и прерванном взлетах с учетом ошибок управления, а также эксплуатационных и атмосферных факторов.

Методика может быть использована для подтверждения летной годности и определения соответствующих вероятностных критериев.

Методика предусматривает исследования последствий различных расчетных случаев, характерных для этапа взлета гражданских самолетов, в том числе отказов силовой установки, отказов системы уборки и выпуска механизации, отказов систем торможения.

## **Оптимизация крыла малоразмерного беспилотного летательного аппарата**

Пархаев Е.С.

Научный руководитель – Семенчиков Н.В.

МАИ, г. Москва

На сегодняшний день одним из наиболее перспективных направлений развития авиационной науки является проектирование беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Основное их преимущество отражено в самом названии – они беспилотные, то есть отсутствие человека в системе авиационного комплекса позволяет осуществлять полеты, не ограничиваясь физиологическими особенностями пилота. Особое внимание следует уделить БЛА типа мини и микро, так как за последние десять лет этот класс претерпел большие изменения, в связи новыми достижениями в области миниатюризации компонентов БЛА. Выполнение задач воздушной разведки, по средствам фото- и видеосъемки в режиме реального – основная функция подобных аппаратов, которую невозможно осуществить другими средствами. Очевидно, что дальнейшее совершенствование технических характеристик компонентов БЛА расширит спектр выполняемых ими задач.

Улучшение летно-технических характеристик малоразмерных беспилотных летательных аппаратов не представляется возможным без совершенствования их аэродинамического облика. В то же время аэродинамика указанных аппаратов существенно отличается от аэродинамики пилотируемых аппаратов, в частности обтекание происходит при малых, критических числах  $Re = 10^4 \dots 5 \cdot 10^5$ . Одна из причин, по которой до сих пор ведутся исследования, это нехватка аэродинамических моделей, которые бы с достаточной для практики точностью могли предсказывать параметры ламинарно-турбулентного перехода с образованием местного отрыва потока (отрывного пузыря) на крыле. Размер отрывной области, а также положение перехода во многом зависит от формы крыла МБПЛА.

В работе рассмотрен метод аэродинамической оптимизации, включающий в себя параметрическую (геометрическую) модель описания профиля крыла, аэродинамическую модель обтекания профиля при малых числах Рейнольдса и управляющий алгоритм.

Получены решения задачи оптимизации крыла МБПЛА с использованием различных аэродинамических моделей. Предложены рекомендации по улучшению качества решений по средствам введения дополнительных

ограничений на параметризацию профиля. Проведено сравнение оптимизируемых контуров, с использованием различных моделей турбулентности.

## **Исследование влияния турбулентности набегающего потока на устойчивость ламинарного пограничного слоя на скользящем крыле**

Платонов И.М.

Научный руководитель – Никитин П.В.

МАИ, г. Москва

Задача освоения гиперзвуковых скоростей полета летательного аппарата в плотных слоях атмосферы ставит перед разработчиками и конструкторами целый ряд проблем, без решения которых невозможно занять лидирующее положение в авиационной отрасли. Рабочим процессам, происходящим при больших скоростях набегающего полета, присущи высокие тепловые и механические нагрузки на конструкцию летательного аппарата. Для выполнения поставленных задач, необходимо обеспечить адекватную тепловую защиту и оптимизировать аэродинамические характеристики. Оба параметра непосредственно зависят от состояния пограничного слоя на поверхности летательного аппарата.

Для ламинарного течения характерны умеренный теплообмен с поверхностью и низкий коэффициент сопротивления трения. Турбулентному течению сопутствуют интенсивный теплообмен и большой коэффициент сопротивления трения. Как правило, оба режима наблюдаются при рассмотрении авиационной техники. Поэтому информация о положении ламинарно-турбулентного перехода представляет особый интерес для разработчиков и конструкторов.

На сегодняшний день выделены основные механизмы неустойчивости невозмущенного потока, зарождающиеся в пограничном слое и приводящие к его дестабилизации. Основными являются 1-я (волны Толлмена-Шлихтинга) и 2-я (моды Мака) моды, неустойчивость Гёртлера и поперечная неустойчивость («crossflow»). Проявление и преобладание каждого механизма потери устойчивости пограничного слоя зависит от скорости набегающего потока и геометрических особенностей рассматриваемого объекта, а также других различных факторов, таких как турбулентность и акустические колебания в набегающем потоке, охлаждение и вибрация поверхности, наличие массообмена с поверхностью, угол атаки, градиент давления и др.

Исследованиям таких факторов, их взаимодействию между собой и с механизмами потери устойчивости, влияющих на наступление ламинарно-турбулентного перехода, посвящено большое количество работ.

В данной работе будет рассмотрено течение на скользящем крыле. В таком течении преобладают поперечная неустойчивость и вихри Гёртлера. Первая связана с «растеканием» - изгибом линий тока набегающего потока на передней кромке. Вторая проявляется при появлении центробежных сил, связанных с искривлением геометрии, и характерна течением Прандтля-Майера. Будет исследовано влияние различной интенсивности турбулентности набегающего

потока, а также влияние шероховатости поверхности на смещение положения ламинарно-турбулентного перехода.

## **Динамика беспилотного планирующего крылатого летательного аппарата крестообразной схемы**

Полищук М.В.

Научный руководитель – Грумондз В.Т.

МАИ, г. Москва

В настоящее время беспилотные планирующие крылатые летательные аппараты (БПК ЛА) выделились в отдельный класс летательных аппаратов (ЛА), для которых траектории планирующего полета являются одними из возможных и наиболее выгодных. Старт БПК ЛА возможен как с самолетов-носителей на больших высотах и скоростях, так и с малоподвижных носителей с небольших высот и при небольших скоростях, например с вертолетов. Во втором случае для полета БПК ЛА необходимо использование разгонного двигателя.

Одной из основных задач, которую необходимо решать при проектировании БПК ЛА того или иного назначения, является обеспечение точности попадания в заданную точку на земной поверхности. Другой, не менее важной задачей является задача обеспечения максимальной дальности автономного полета БПК ЛА.

Особенности динамики полета рассматриваемых объектов управления обусловлены следующими обстоятельствами: большим перепадом высот, весьма жесткими требованиями к точности наведения на заданную точку, большими различиями между скоростями полета в начальный и конечный моменты времени, отсутствием силовой установки (не считая конфигураций с ускорителем) на борту объекта управления, что влечет за собой отсутствие участков полета, где движение является установившимся в строгом смысле слова. Отсюда следуют существенные трудности выбора аэродинамических и динамических характеристик, а также траекторий спуска в атмосфере летательных аппаратов рассматриваемого класса.

В докладе представлены результаты решения задач выбора аэродинамической компоновки БПК ЛА крестообразной (или Х-образной) схемы. Решены задачи выбора управлений, обеспечивающих:

- максимизацию длины проекции траектории полета БПК ЛА на земную поверхность;
- минимизацию потерь суммарной энергии БПК ЛА при движении до конечной точки траектории;
- максимизацию модуля траекторного угла подхода к конечной точке траектории для повышения эффективности рассматриваемых БПК ЛА;
- устойчивость движения БПК ЛА в течение автономного полета.

Построены соответствующие конструктивные алгоритмы.

- Проведен сравнительный анализ динамики полета БПК ЛА трех различных аэродинамических схем:
- вариант 1 - компоновка с крылом Х-образной схемы и консолями малого удлинения;

- вариант 2 - компоновка с крылом Х-образной схемы и консолями среднего удлинения;
- вариант 3 - компоновка с крылом в самолетной схеме с раскрывающимися консолями большого удлинения и хвостовым оперением, выполненным в Х-образной схеме.

### **Разработка метода определения посадочной дистанции транспортных самолётов в сложных метеоусловиях**

Сметанина Н.А.

Научный руководитель – Бехтина Н.Б.

МГТУ ГА, г. Москва

В соответствии с требованиями Норм летной годности последствия отказов функциональных систем должны оцениваться во всем диапазоне ожидаемых условий эксплуатации. Основные принципы оценки соответствия самолета общим требованиям к летной годности предусматривают исследования расчетных случаев, связанных с отказами систем самолета в фактических условиях летного эксперимента. Последующая оценка характеристик движения самолета во всем диапазоне ожидаемых условий эксплуатации должна осуществляться с помощью математического моделирования, а также контрольных проверок в летных испытаниях. Исследования на ЭВМ должны проводиться на целом комплексе моделей, охватывающих соответствующие расчетные случаи и этапы полета.

Методика построения моделей движения самолета в продольной плоскости на посадке предусматривает формирование моделей по результатам продувок в аэродинамических трубах и стендовых испытаниях двигателя, с последующей оценкой достоверности и корректировкой отдельных коэффициентов по результатам летного эксперимента. Для отработки моделей были использованы материалы посадок самолета ТУ-204 как при нормальной работе систем, так и при имитации ряда расчетных случаев.

Полученные модели предназначены для оценки последствий расчетных случаев при различных сочетаниях атмосферных условий, эксплуатационных факторов и параметров управления самолетом на посадке. Эти же материалы могут служить основой исследований по определению рациональных параметров управления в соответствующих расчетных случаях, а также для формирования приближенных факторных моделей движения самолета с целью проведения статистического моделирования для вероятностной оценки расчетных случаев.

Выбор рациональных параметров управления при выполнении посадок должен производиться исходя из требования минимизации посадочной дистанции с учетом большого числа условий безопасности. Без достаточно полных моделей движения и управления самолетом такая задача не может быть решена.

При расчете посадочной дистанции необходимо основное внимание уделять средствам торможения, состоянию поверхности взлетно-посадочной полосы (ВПП) и методам измерения характеристик сцепления колес шасси с поверхностью ВПП.

До начала торможения колес на участке торможения используются любые средства торможения при условии, что самолет после применения этих средств управляем при наиболее неблагоприятных условиях. При использовании реверса тяги рекомендуется, чтобы максимальное значение реверсивной тяги любого двигателя не превышало величину, обеспечивающую удовлетворительное путевое управление в случае выхода из строя критического реверсивного устройства при неблагоприятных условиях с учетом высоты аэродрома и температуры воздуха.

В докладе предлагается методика определения зависимостей между характеристиками торможения колес самолета и характеристиками сцепления с ВПП специальных наземных устройств с тем, чтобы использовать измеряемый коэффициент сцепления как критерий оценки состояния ВПП.

Для большей конкретизации состояний ВПП была принята концепция трех категорий, которая предполагает определение характеристик торможения отдельно для каждой из этих категорий, при этом дополнительно введена оценка текстуры поверхности и толщина слоя воды на поверхности ВПП.

### **Анализ систем спасения пассажиров авиалайнеров**

Романов М.А., Смирнов В.Т., Тажетдинов И.Р.

Научный руководитель – Маркин Н.Н.

МАИ, г. Москва

Авиационные катастрофы пассажирских самолетов являются чрезвычайно редкими событиями, которые возникают при отказах бортовых систем, неблагоприятном стечении метеорологических факторов и ошибок экипажа. Несмотря на достижения в авиационной технике при катастрофическом развитии событий полета вероятность спасения пассажиров самолета крайне мала. Отчасти это связано со слабым развитием систем спасения пассажиров. Рассматриваются проекты систем спасения, которые позволяют увеличить шансы на выживании пассажиров.

Некоторые из этих проектов уже применяются и зарекомендовали себя как надежные и эффективные, например, парашютная система CAPS. Другие системы не введены в производство либо из-за сложности реализации, либо высокой стоимости производства, либо вообще сомнительной эффективности или повышенного риска. Для внедрения определенных систем потребуется заново конструировать фюзеляж или вносить серьезные изменения силового набора.

В авиакатастрофах в мире в 2014 году погибли 884 человек, что стало худшим показателем с 2005 года по данным агентства Bloomberg. Большинство являлись пассажирами авиалайнеров.

Чтобы повысить выживаемость людей были предложены различные варианты решения проблемы. Несколько систем спасения пассажиров рассмотрены и оценены по трем критериям: надежность, эффективность и стоимость введения в эксплуатацию.

Капсула с парашютом инженера Тараненко.

Капсула с креслами для пассажиров и экипажа должна отделяться от фюзеляжа за две-три секунды. Сначала из хвостовой части вылетает специальный парашют, который следом вытаскивает саму капсулу.

Парашютная система CAPS от фирмы Ballistic Recovery Systems.

Система в течение одной секунды реагирует на возникновение аварийной ситуации и быстро выбрасывает парашют, который постепенно снижает скорость падения самолета и обеспечивает относительно мягкое приземление.

Система капсульного спасения АПАКС пассажиров посредством разрушения самолета ученого Гаида Халидова.

Она основана на принципе отделяемых модулей, которые вставлены в фюзеляж лайнера. По идее учёного, в случае угрозы крушения эти блоки герметизируются и катапультируются. Каждая капсула оснащена специальным парашютом для мягкой посадки.

Несмотря на то, что данные системы были рассмотрены изобретателями и авиакомпаниями, они не применимы для крупных пассажирских самолетов по выше названным причинам. Для того, что авиаперевозчики и Международная организация гражданской авиации (ИКАО) взяли за такие масштабные проекты, они должны быть уверены в надежности системы.

## **Нагружение корпуса дирижабля при его перемещении через струйное течение**

Та Суан Тунг

Научный руководитель – Семенчиков Н.В.

МАИ, г. Москва

Рассматривается нагружение неоперенного корпуса (оболочки) дирижабля с круговой формой поперечных сечений (корпус без носового усиления, гондолы, винтомоторной группы и оперения), перемещающегося через восходящее струйное течение, имеющее ядро с постоянной по величине скоростью. Ось струйного течения и продольная ось корпуса дирижабля были взаимно перпендикулярны. Задача решалась в рамках предположения, что ориентация корпуса дирижабля в пространстве относительно оси струйного течения во все моменты движения корпуса дирижабля оставалась неизменной (рассматривался вариант движения без скольжения). Скорости движения корпуса дирижабля и в ядре струи во времени не изменялись. Несмотря на условность такой постановки задачи, анализ результатов ее решения позволяет сделать определенное заключение о влиянии различных факторов на нагружение неоперенного корпуса дирижабля при его перемещении через струйное течение.

Решение задачи осуществлялось численно с использованием осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса, замкнутых моделью турбулентности «*k- $\omega$  SST*» и метода конечных объемов. Реализация решения была осуществлена с помощью программного комплекса *Ansys Fluent15* (лицензия № 00632255) и дополнительных программ автора. Течение в окрестности корпуса предполагалось турбулентным. Число Рейнольдса было равно  $Re = 5,3 \times 10^6$  и подсчитывалось по длине корпуса и скорости его движения. Удлинение корпуса было равно  $\lambda = 4,5$ . Обвод корпуса в меридиональном сечении определялся уравнением, которое в плоскости  $xOy$  связанной с корпусом системы координат

с началом в вершине корпуса имело вид:  $y = 0,972D [ \bar{x} (1 - \bar{x}) (1,5 - \bar{x}) ]^{1/2} (\bar{x} = x/L, L - \text{длина}, D - \text{диаметр миделевого сечения корпуса})$ .

В результате расчетов были получены распределения по длине корпуса локальных аэродинамических продольной и нормальной силы, а также момента тангажа, действующих в различные моменты времени на сечения корпуса дирижабля при его перемещении через струйное течение. Их величины определяются положением корпуса дирижабля по отношению к центру струйного течения и соотношением скоростей движения дирижабля и скорости в ядре струйного течения.

Найдено, что максимальные локальные продольные силы реализуются вблизи вершины носовой части корпуса на участке с координатами (отсчитанными от носка корпуса)  $0 \leq x \leq 0,03L$  ( $L$  – длина корпуса), когда корпус находится вне или полностью внутри струи, а также выходит из струи. При входе в струйное течение на участке при  $0 \leq x \leq 0,4L$  они оказываются отрицательными, а максимум их модуля имеет место при  $x \approx 0,1L$ . Это приводит к тому, что в при входе в струйное течение на корпус действует отрицательная продольная сила, «затягивающая» корпус в струю.

Когда корпус входит в струйное течение или полностью находится в нем, на части корпуса, при  $0 \leq x \leq 0,5L$ , имеют место положительные нормальные силы, максимум которых наблюдается при  $x \approx 0,1L$ . На остальной части корпуса в этом случае локальные нормальные силы оказываются меньше нуля, а максимум их модуля имеет место при  $x \approx 0,8L$ . Этот максимум примерно в 3 раза меньше максимума локальных нормальных сил новой части корпуса. При выходе корпуса дирижабля из струйного течения нормальные силы сечений носовой части корпуса быстро уменьшаются, стремясь к нулю, в то время как на кормовой части корпуса они по-прежнему оказываются не равными нулю и отрицательными. Их модуль уменьшается примерно в 1,6 раза по сравнению со случаем, когда корпус находится в центре струйного течения, и наблюдается также в сечении, определяемом координатой  $x \approx 0,8L$ .

### **Расчет обтекания механизированного профиля с бесщелевым и щелевым предкрылками**

Тихоновец А.В.

Научный руководитель – Никитченко Ю.А.

МАИ, г. Москва

В настоящее время большое внимание уделяется улучшению экологической обстановки в районе аэропортов – в частности, ужесточаются требования к снижению шума.

Один из возможных методов снижения шума, возникающего при обтекании элементов планера самолёта – использование бесщелевого предкрылка. У такого предкрылка на взлётном режиме отсутствует щель возле задней кромки, а значит, отсутствует поток воздуха через эту щель, создающий основной шум при обтекании крыла.

Кроме того, использование бесщелевого предкрылка, по существующим данным из литературы, может снизить лобовое сопротивление на участке взлёта,

а при посадке сохранить высокие несущие свойства. Вследствие этого увеличивается аэродинамическое качество крыла (по сравнению с крылом, имеющим щелевой предкрылок).

Целью исследования было сравнение двух математических моделей крыла перспективного регионального самолёта с разными предкрылками с точки зрения снижения лобового сопротивления на взлётном режиме и обеспечения требуемых несущих свойств на режиме посадки. Решалась плоская задача обтекания механизированного профиля. Расчёты проводились при помощи программного комплекса ANSYS.

На первом этапе в модуле ICEMCFD были построены неструктурированные расчётные сетки для рассматриваемых случаев. Далее в решателе Fluent были произведены настройка модуля и необходимые расчёты. При расчётах использовалась модель турбулентности Спаларта-Аллмараса, не требующая значительных вычислительных ресурсов, однако дающая удовлетворительную точность.

Углы отклонения предкрылков на взлётном режиме составили  $18^\circ$ , на посадке –  $30^\circ$ , рассмотрены несколько сечений вдоль размаха крыла. Расчёты проводились при нескольких различных углах атаки – от  $-6^\circ$  до  $16^\circ$ .

В результате расчётов было показано, что бесщелевой предкрылок на взлётном режиме (с отсутствием щели) обеспечивает заметное снижение лобового сопротивления при сохранении несущих свойств в большом диапазоне углов атаки. Щелевой предкрылок, однако, обеспечивает несколько более высокие несущие свойства на околокритических углах атаки.

Таким образом, на взлётном режиме обеспечивается увеличение аэродинамического качества профиля крыла до 25%.

В посадочном положении предкрылки обоих типов работают в щелевом режиме. Из-за необходимости выдвижения бесщелевого варианта предкрылка его радиус вращения несколько меньше, и его несущие свойства оказываются ниже ( $\Delta C_{y_{max}} \sim 0,1$ ).

На данный момент более целесообразным представляется использование бесщелевого предкрылка, поскольку на взлётном режиме (с щелью) он не только сохраняет высокие несущие свойства при заметном снижении лобового сопротивления, но и позволяет снизить уровень шума за счёт отсутствия турбулентной струи в щели.

Расчётные данные, полученные в результате данной работы – лишь первый этап исследования. В дальнейшем планируются испытания моделей крыла с целью подтверждения полученных результатов, а также в акустических трубах для сравнения уровней шума.

## **Аналитическое конструирование оптимального регулятора продольного углового движения упругого самолёта**

Маркин Н.Н., Черникова Е.А.

МАИ, г. Москва

Рассматривается дальнемагистральный самолет В-777 с двумя двигателями. На самолете установлены самые большие двигатели, используемые на пассажирских самолетах. Конструкция планера рассматривается как система

упруго соединенных тел. В качестве центрального тела рассматривается фюзеляж, к которому на упругом крыле крепятся два двигателя на пилонах.

Ставится задача синтеза системы стабилизации продольного движения и демпфирования упругих изгибных и крутильных колебаний крыла. Решение данной задачи позволит улучшить характеристики устойчивости и управляемости самолета в продольном движении и увеличить долговечность конструкции. В качестве органов управления используются руль высоты и зависающие элероны. Измерительные устройства включают датчики угла тангажа, перегрузок и датчики угловых скоростей, установленные на фюзеляже и на крыле.

Для крейсерского режима полета решается задача аналитического конструирования оптимального регулятора углового движения фюзеляжа в тангажном варианте и демпфирования упругих изгибных и крутильных колебаний двигателей. Выходные координаты включают угол тангажа и нормальной перегрузки фюзеляжа, угловые скорости тангажа фюзеляжа и двигателей, угловую скорость относительно продольной строительной оси в узле крепления двигателя пилоном к крылу.

Математическая модель представляет собой линеаризованные уравнения продольного углового движения фюзеляжа и уравнения изгибных и крутильных колебаний двигателей.

В качестве целевой функции рассматривается квадратичный критерий с весовыми коэффициентами, которые выбираются для обеспечения желаемых значений относительного коэффициента демпфирования фюзеляжа, частоты продольного короткопериодического движения.

Решение задачи линейного анализа и синтеза выполняется с использованием математической лаборатории MATLAB. Вычисляются оптимальные коэффициенты дополнительных обратных связей по углу тангажа, нормальной перегрузке и угловым скоростям тангажа для фюзеляжа и тангажа и крена для пилон двигателя. Производится выбор весовых коэффициентов целевой функции для настройки автопилота тангажа по желаемым характеристикам продольного короткопериодического движения. Весовые коэффициенты для демпфирования упругих изгибных и крутильных колебаний крыла выбраны с учетом ограничения на углы зависания элеронов.

Управление зависающими элеронами позволяет в 3 раза увеличить коэффициенты относительного демпфирования упругих колебаний по сравнению с вариантом собственного демпфирования колебаний с учетом топлива в консолях крыла и аэродинамического демпфирования.

Разработанная математическая модель используется для исследования как симметричных, так и несимметричных упругих колебаний консолей. Определены матрицы передаточных функций по управляющим и возмущающим воздействиям. В качестве возмущающего воздействия рассмотрен вертикальный порыв ветра.

## **Аналитическое конструирование оптимального регулятора продольного углового движения при управлении рулём высоты и триммер стабилизатором**

Маркин Н.Н., Фигаровская Н.В.

МАИ, г. Москва

Рассматривается автоматическое управление продольным угловым движением самолета рулем высоты и управляемым горизонтальным стабилизатором. Контур управления рулем высоты по сравнению с контуром управления горизонтальным стабилизатором обладает более высоким быстродействием, но существенно меньшей величиной создаваемого момента для управления в продольном канале.

Управления угловым движением для маневрирования и стабилизации углового движения осуществляется рулем высоты. Для триммирования руля высоты управляемый стабилизатор плавно поворачивается для балансировки самолета и уменьшения практически до нуля шарнирного момента и угла отклонения руля высоты. Такой вид триммирования обеспечивает уменьшение лобового сопротивления в триммированном положении руля высоты, не уменьшает располагаемый ход руля высоты, но требует более сложной системы управления по сравнению с использованием аэродинамического триммера.

В работе используется линеаризованная модель продольного углового движения самолета на установившемся горизонтальном режиме полета. Матрицы коэффициентов линеаризации постоянны и не зависят от времени. Математическая модель дополнена уравнениями приводов руля высоты и стабилизатора, интегральным соотношением для отклонения руля высоты. В качестве целевой функции используется квадратичный критерий качества. Решается задача аналитического конструирования оптимального регулятора руля высоты и управляемого стабилизатора. Оптимальный закон управления представляет собой отрицательную обратную связь по управляемым координатам с постоянными коэффициентами. Оптимальные коэффициенты усиления вычисляются на основе решения матричного уравнения Риккати с использованием системы MATLAB. При оптимальных коэффициентах усиления линейного алгоритма управления определяются передаточные функции по управляющим и возмущающим воздействиям. В качестве возмущающих воздействий рассматриваются порывы ветра и возмущающие моменты при отклонении закрылков и предкрылков на этапах взлета и посадки.

Настройка автопилота в тангажном варианте осуществляется для установившегося горизонтального полета при единичном ступенчатом возмущающем воздействии. Начальный этап настройки коэффициентов усиления осуществляется выбором весовых коэффициентов квадратичной целевой функции для каналов независимого управления углом тангажа рулем высоты и управляемым стабилизатором.

На втором этапе определяется настройка обратной связи по интегралу отклонения руля высоты. Выбор весового коэффициента для интегрального соотношения выполняется по времени уменьшения шарнирного момента.

Для продольного углового движения самолета с оптимальным регулятором рулем высоты и триммер стабилизатором определены характеристики движения

в линейной области. Исследованы характеристики переходных процессов, логарифмические амплитудно-фазовые частотные характеристики, годографы матрицы передаточных функций, собственные значения и характеристики форм движения. Исследованы характеристики реакций на управляющие командные сигналы, возмущающие вертикальные порывы ветра и отклонение механизации на посадке.

## **Экспериментальная проверка аэродинамических характеристик профиля мягкого двухоболочкового крыла**

Швед Ю.В., Чулков М.В.

Научный руководитель – Швед Ю.В.

МАИ, г. Москва

Целью данной работы являлось создание методики получения экспериментальных данных о границе устойчивости мягкого двухоболочкового крыла на малых углах атаки, а также о максимальной несущей способности профиля на больших углах атаки, с учётом деформации стропной системой.

Оптимальным поведением мягкого крыла при полёте в турбулентном воздухе представляется такое, что под воздействием нисходящего потока несущую плоскость не швыряет целиком вниз и назад, для чего часть крыла, которая могла бы спровоцировать такое движение, выключается из работы. Остальная часть крыла в течение всего времени неустановившегося движения остается надутой, вне зависимости от положения воздухозаборников, препятствуя сворачиванию и подныриванию консолей. Деформированная таким образом несущая плоскость должна продолжить прямолинейный полет, и как только внешнее воздействие прекращается, форма крыла должна самостоятельно восстанавливаться, опять же без нарушения прямолинейности полета. Оптимальным использованием планирующего крыла на посадке является его программируемый изгиб посредством стропной системы для осуществления динамического торможения (динамического подрыва). Возможности данного способа зависят от доступных несущих свойств крыла в различных конфигурациях.

Требуемые особенности поведения мягкого крыла требуют новых исследований для развития понимания оптимальных параметров его профиля и конструктивного оснащения. До сих пор остается насущной и неудовлетворённой потребность в атласе специальных аэродинамических профилей для мягких крыльев с описанием сильных и слабых сторон этих профилей. Задача осложняется тем, что механизация мягкого крыла производится путём различных деформаций его профиля. Форма, которую мягкое крыло приобретает при этих воздействиях, трудно вычислима. При этом до сих пор не разработана стандартная методика экспериментальных исследований, позволяющих вычлнить из общей картины влияние профиля.

Для решения указанной задачи была разработана схема эксперимента для продувок модели мягкого двухоболочкового крыла прямоугольной формы в плане с нулевой арочностью в аэродинамической трубе, совмещающая в себе фиксацию и прямое измерение угла атаки крыла с возможностью наблюдения устойчивости мягкой оболочки на малых углах атаки, а также измерения

аэродинамических коэффициентов как на недеформированном крыле, так и на крыле с деформацией профиля строплением с разработанной схемой кинематики свободных концов, а также с деформацией посредством затяжки клевантных строп. Конструкция модели и подвески даёт возможность вести измерения также при отрицательных углах атаки и позволяет увеличить достоверность результатов эксперимента при помощи изменения конфигурации воздухозаборников модели.

На втором этапе проведены эксперименты в аэродинамической трубе МАИ и получены данные по исследуемому профилю.

### **Определение вращательных производных от аэродинамических сил и моментов**

Шумова М.Ю.

Научный руководитель – Липницкий Ю.М.

МАИ, г. Москва

При полете в плотных слоях атмосферы летательных аппаратов (ЛА) под воздействием возмущающих факторов формируется колебательная форма движения объекта относительно центра масс. Характер изменения амплитуды колебаний ЛА определяется его динамической устойчивостью, которая является одной из основных характеристик, влияющих на параметры траектории. Как правило, скорость линейных перемещений точек поверхности аппарата за счет колебаний значительно больше времени распространения возмущений, что позволяет при решении задач определения нестационарных характеристик ЛА, обусловленных возмущенным движением, использовать метод малого параметра, в рамках которого нестационарные возмущения представлять в виде разложения по кинематическим параметрам движения.

Конечно, с использованием многопроцессорных вычислительных комплексов можно решать совместную нестационарную динамическую задачу с пошаговым расчетом аэродинамических характеристик, однако временные затраты и неограниченность возможных возмущенных траекторий делают такой подход применимым только для контрольных расчетов. Для оценки демпфирующих характеристик ЛА, по-прежнему, остается актуальным подход, основанный на использовании зависимости давления от местного угла атаки, который определяется с учетом вектора угловой скорости объекта. Разработке метода и программы расчета матрицы перекрестных производных демпфирующего момента  $M_i^{W_j} (i=x,y,z; j=x,y,z)$  по известной зависимости стационарного давления на теле и местного угла атаки  $P(\alpha_m)$  посвящена данная работа.

Библиографический список

[1] Lozi R. Un attracteur etrange du type attracteur de Henon // Journal de Physique, 1978, vol. 39, no. C5, pp. 9-10.

[2] Henon M. A two-dimensional mapping with a strange attractor // Communications in Mathematical Physics, 1976, vol. 50, pp. 69-77.

[3] Лоренц Э. Н. Детерминированное непериодическое течение // Странные аттракторы. – М.: Мир, 1981. – С. 88-116.

Секция №45. Проектирование, конструирование и производство авиационных ЛА.

## **СЕКЦИЯ № 45. Проектирование, конструирование и производство авиационных ЛА**

Руководители секции: к.т.н., с.н.с. Стрелец Д.Ю.,  
к.т.н., доцент Максимович В.З.

---

### **Создание комплекса лабораторных установок для проведения занятий по курсу «Проектирование систем кондиционирования воздуха летательного аппарата»**

Агашин А.О., Ким А.Э., Сычев И.Ю.  
Научный руководитель – Скиданов С.Н.  
МАИ, г. Москва

Целью данной работы является масштабное переоснащение и модернизация лабораторного комплекса по курсу «Проектирование систем кондиционирования воздуха летательных аппаратов» кафедры 103 «Системы оборудования ЛА».

Основанием для разработки лабораторных стендов является план учебных лабораторных работ студентов, изучающих курс «Проектирование систем кондиционирования воздуха летательных аппаратов». Лабораторные работы предусматривают использование некоторой материальной базы – это плакаты, методические пособия, лабораторные установки и стенды, которые будут созданы в рамках этой масштабной работы.

Первым шагом было создание лабораторного стенда по изучению вихревого эффекта в вихревой трубе. В рамках работы был создан экспериментальный стенд и проведены эксперименты по продувке вихревой трубы, на основании которых была выполнена оценка ее эффективности. Так же была подготовлена 3D модель вихревой трубы для проведения численного исследования вихревого эффекта в среде FlowSimulationSolidWorks.

Проведен расчет модели и выявлена оптимальная сетка для расчета движения потоков воздуха в трубе на различных положениях регулирующего винта. Создано наглядное представление изменения этих течений в трубе, которое помогает понять, как протекает разделение потока входного воздуха на горячий и холодный канал, на каком расстоянии находится ядро вихря и где имеется наибольший перепад температур. Все это в совокупности может помочь в создании более совершенной вихревой трубки.

Параллельно с этим разрабатывается расходомер для воздуха на выходных сечениях, так как имеющиеся аналоги либо очень дороги, либо не подходят по тем или иным параметрам. Было принято решение использовать систему манометров для измерения разности динамического и статического давления.

В результате выполнения данной работы создана экспериментальная установка по изучению вихревого эффекта, разработаны 3D модели лабораторного стенда и вихревой трубы для проведения численных экспериментов.

## **Расчёт теоретической модели пилотируемого летательного аппарата с питанием от солнечной энергии**

Васимова И.Н.

Научный руководитель – Бархатнов И.И.

МАИ, АО «НПП «Квант», г. Москва

К настоящему времени мировая наука достигла небывалых высот: то, что ещё недавно казалось невозможным, с каждым днём всё плотнее входит в нашу жизнь. Ученые конструкторы изо-дня в день всё ближе подходят к созданию самолета на солнечных батареях. Этот проект является не только научной идеей, но и стратегически необходимой разработкой для решения многих государственных задач. Наша страна имеет все необходимые ресурсы для создания подобного аппарата. Именно это послужило основанием для написания данной работы. Цель работы – составление расчетной модели летательного аппарата, использующего в качестве источника энергии кремниевые солнечные батареи. Для полной оценки возможности осуществления данного проекта на практике рассмотрен весь ассортимент солнечных элементов производимых на территории Российской Федерации. Т.к. в условиях полетов в верхних слоях атмосферы на высоких скоростях наиболее целесообразно использовать кремниевые полупроводниковые солнечные батареи, которые представляют собой массив силовых фотодиодов, имеющих большую площадь в своих расчётах я использовала панели на основе монокристаллического кремния (реальный КПД до 20%). Разработкой и производством данного типа панелей занимается научно-производственное предприятие «Квант», что говорит о возможности реализации проекта на территории нашей страны. В ходе написания работы установлено, что на данный тип ЛА эффективнее всего устанавливать коллекторный электродвигатель, с деталями из легких композитных материалов высокой прочности.

Математические расчёты велись исходя из предполагаемых параметров будущего пилотируемого летательного аппарата: высота полета до 8 500м, наибольшая масса – 1 600 кг, минимальная скорость – 35 км/ч, размах крыла – 80 м, площадь крыла – 260 кв.м (Основной каркас изготавливается из сверхлегкого композитного материала на основе углерода), длина – 22м, мощность силовой установки –  $4 \times 7,35$  кВт, диаметр винтов силовой установки – 3,5 м, масса аккумуляторов – 400 кг, КПД солнечных батарей (12 000 монокристаллов) – 18-20%. Более подробно с внутренним устройством аппарата (с указанием марок и наименований деталей) можно ознакомиться в приложениях к основному тексту работы.

Основная отличительная особенность создаваемого летательного аппарата – полностью отечественное производство, без использования импортных составляющих. Это позволит: а) использовать максимальный возможный ресурс уже имеющихся оснащенных заводов и предприятий; б) значительно сэкономить на иностранных поставках; в) создать и сохранить в тайне собственную технологию изготовления. Данная разработка будет полезна как в оборонной промышленности, так и в сфере прогнозирования и науки.

В результате выполненных работ получены необходимые данные и расчеты для создания экспериментальной модели пилотируемого ЛА с питанием от

солнечной энергии в полном масштабе. Результат оправдал поставленную цель, доказывая, что воплощение данного проекта на территории нашей страны возможно согласно описанному алгоритму. Составлен экспериментальный макет ЛА в масштабе, а также компьютерная модель аппарата. Продолжая исследование, планируется разработка технологического процесса изготовления опытного изделия.

### **Конструкция крыла модели МС-21 для определения нагрузок на элементы с учётом струй имитаторов двигателей**

Григорьев И.В.

ФГУП «ЦАГИ», г. Москва

Крыло с имитаторами двигателей разработано для крупномасштабной модели МС-21. Масштаб равен 1:8.16 натуральной величины. Модель с данным крылом испытывается при скоростях набегающего потока  $V=50\dots 80$  м/сек, в диапазоне углов атаки  $\alpha=-4^\circ\dots 25^\circ$  и диапазоне углов скольжения  $\beta=\pm 20^\circ$ . Размах крыла равен 5.4 метра.

Данная модификация модели предназначена для определения весовых характеристик на взлётно-посадочных режимах с учётом работы силовых установок. Измерения осуществляются многокомпонентными тензометрическими весами установленными на отдельных элементах модели. Также во время испытаний измеряются весовые характеристики всей модели общемодельными весами, расположенными в центроплане. Соответственно механическая связь между подвижной моделью и стационарной стойкой в аэродинамической трубе осуществляется через общемодельные весы. Во время испытаний модель словно парит в потоке, удерживаемая на тензометрических весах.

Работа силовой установки моделируется путём выдува под давлением воздуха со среза сопла. Воздух к имитатору двигателя подводится трассой, проходящей сквозь консоль и пилон. Подача воздуха ко всей модели осуществляется через центральную модельную стойку.

Конструкция консоли крыла представляет собой совокупность следующих основных элементов: силового сердечника консоли, полного набора механизации передней и задней кромок, стойки шасси со створками и полого пилона. Особенностью силового сердечника консоли является наличие полости для подвода воздуха к полуму пилону и далее имитатору двигателя. Существенную проблему составила передача воздуха от стационарной стойки к подвижной модели. Для этих целей разработаны специальные гибкие присоединительные воздуховоды, обладающие минимальной возможной жёсткостью. Таким образом, гибкие элементы осуществляют герметичный подвод воздуха и не оказывают существенное влияние на показания весовых испытаний.

В конструкцию фюзеляжа модели МС-21 внесён комплекс изменений для монтажа крыла с имитаторами двигателей. Крыло с имитаторами двигателей используется на модели взамен ранее применявшегося механизированного крыла. В случае необходимости испытания старого крыла, его можно установить обратно. Конструкция позволяет использование крыльев по мере

необходимости. Испытания модели МС-21 с имитаторами двигателей проводятся в присутствии экрана, воспроизводящего влияние взлётно-посадочной полосы.

### **Модификация крупномасштабной модели МС-21 для установки тензосов на различные элементы модели**

Громышков А.Д., Копылов А.А.  
ФГУП «ЦАГИ», г. Москва

В конструкции современных гражданских самолетов закладываются новые кинематические схемы выпуска взлетно-посадочной механизации и шасси. Отработка этих схем на натурных образцах потребовала проведения дополнительных экспериментальных исследований по определению нагрузок на элементы, на которых ранее не предполагалось измерение сил и моментов.

В качестве объекта исследования в первую очередь рассматривалась крупномасштабная модель самолета МС-21 для Т-104. Во-первых, масштабный фактор других моделей не позволяет разместить измерительную аппаратуру в габаритах малоразмерных моделей. Во-вторых, большой масштаб модели позволяет более подробно смоделировать мелкие детали самолета, что позволяет получить более достоверные данные при испытаниях.

На модели ранее успешно проведен начальный цикл испытаний на определение общих аэродинамических характеристик, исследования влияния на органы управления и механизации струи двигателя на режимах взлета и посадки вблизи экрана. Предложено измерить силы и моменты на 2-ю, 3-ю секции предкрылков, створки и стойки основной опоры шасси. Для измерения шарнирного момента на стойках шасси и фюзеляжной створки были установлены однокомпонентные тензосы. Для определения нагрузок на 2-ю секцию предкрылка были установлены 5-ти компонентные тензосы. Обеспечены испытания секции предкрылка в 3-х положениях: взлетная конфигурация, посадочная конфигурация и крейсерский режим полета. Для элементов, на которые установлены однокомпонентные тензосы, обеспечен полный диапазон углов.

Испытания данной модификации модели позволяют определить нагрузки на отклоняемые элементы модели и дать необходимые рекомендации по выбору приводящих устройств и механизмов на исследуемом самолете.

### **Модель высокоскоростного гражданского самолёта ВГС-1 в конфигурации с закрытым ВЗУ для проведения экспериментальных исследований в АДТ Т-116**

Жирихин К.В.  
ФГУП «ЦАГИ», г. Москва

Всесторонние исследования высокоскоростного гражданского самолета (ВГС) с имитацией внутреннего протока двигателя внутреннего сгорания предполагают создание целого ряда моделей, отличающихся не только конфигурациями канала протока, но и различными внешними геометрическими формами.

Модель для испытаний дроссельных характеристик представляет собой трапециевидный летательный аппарат схемы «летающее крыло» с плоской носовой обечайкой и эллиптическим сечением входа воздухозаборника. Модель состоит из силового сердечника, закреплённого на хвостовой державке, на который устанавливаются консоли крыла, внутренний канал, состоящий из двух половинок, обечайка и фюзеляжные панели. Оперение модели фиксируется в положениях благодаря жестким фиксаторам. Каждый фиксатор соответствует определенному углу поворота. Модель имеет две конфигурации сужающегося участка внутреннего канала.

Модель для исследования суммарных аэродинамических характеристик планера спроектирована с закрытым воздухозаборным устройством. Модель, как и предшествующая ей, выполнена в масштабе 1:35 к лётному аппарату натуральной величины и испытывается на сверхзвуковой скорости в АДТ Т-116 в диапазоне чисел Маха от 5 до 8. Модели отличается носовой частью, закрывающей вход в воздухозаборное устройство (ВЗУ) и увеличивающей общую длину модели на ~ 5%.

Модель с закрытым ВЗУ включает в себя носовой обтекатель, переходные крышки, обеспечивающие плавный переход новой геометрии носовой части к старой геометрии корпуса, элементы которой позаимствованы с предыдущей модели. Выходное отверстие внутреннего канала закрывается соответствующей дроссельной заглушкой.

Для определения донного давления для модели с ВЗУ спроектирована силовая гребёнка, устанавливаемая на хвостовой державке.

Носовой обтекатель модели выполнен при помощи технологии лазерного спекания гранул нержавеющей стали. Данная технология позволила значительно ускорить производство модели и снизить вес готовой детали в 2 раза. Остальные элементы модели также выполнены из нержавеющей стали. Это позволяет им выдерживать температуру до 500 градусов Цельсия, до которых нагревается воздух в аэродинамической трубе во время испытаний, а также заданную нагрузку на острых краях обечайки и краях оперения.

### **Специализированный комплекс определения крутильных и изгибных жёсткостей на натурном образце горизонтального и вертикального оперений**

Жоголев Д.А., Севостьянов С.Я.  
ФГУП «ЦАГИ», г. Москва

Специализированный комплекс (СК) предназначен для определения крутильных и изгибных жесткостей на натурном образце горизонтального (ГО) и вертикального (ВО) оперений.

В процессе испытаний к ложементам консолей пошагово (около 30 шагов) прикладываются сосредоточенные силы и крутящие моменты относительно их осей поворота с регистрацией показаний датчиков перемещений консолей под нагрузкой.

Эксплуатационные нагрузки на системы управления консолями создаются электромеханическими линейными приводами (ЭЛП), закрепленными на рычагах нагружения СК с одной стороны и консолях ГО и ВО с другой, и

составляют 600кгс и 400кгс соответственно. Проушины ЭЛП имеют шарнирные соединения, обеспечивающие поворот механизма в процессе проведения испытаний и компенсацию возможных неточностей изготовления и установки СК.

Пассивную предохранительную функцию, обеспечивающую целостность элементов системы нагружения и объекта испытаний, при возможном нештатном срабатывании системы управления консолями ГО и ВО, выполняют предохранительные пластины рычагов нагружения. Срезающие расчётные нагрузки предохранительных пластин – 780кгс и 520кгс.

Конструктивно СК состоит из силовой рамы, в которой на осях подвешены большой и малый рычаги. Конструкция рамы и рычагов сварная из стальных стандартных профилей. На верхнем опорном основании рамы установлены детали крепления предохранительных пластин. Предохранительные пластины также закреплены и в рычагах, обеспечивая их неподвижность и приложение нагрузки при проведении испытаний. При нештатном срабатывании системы управления, рычаги имеют возможность свободно поворачиваться вокруг своих осей на  $\pm 25^\circ$  (ГО) и  $+6^\circ$  (ВО). Нижнее опорное основание рамы, а также ее боковые балки, используются для крепления СК к силовой колонне. Сама колонна жестко закреплена на силовом полу зоны испытаний. При проведении испытаний на крутильную жесткость СК устанавливается в колонне таким образом, что оси вращения ГО и ВО кинематически проходят между осями рычагов, а при испытаниях на изгибную жесткость – перпендикулярно им. Предохранительные пластины сменные, и в случае их разрыва, могут заменяться на новые.

### **Поиск альтернативных схемных решений были разработаны моментно-инерционные модели агрегатов самолёта**

Куприков Н.М.

Научный руководитель – Долгов О.С.

МАИ, г. Москва

Рассматриваются алгоритмы и методики формирования моментно-инерционного облика перспективных типов ЛА с использованием минимального количества входных данных для условий формирования компоновки самолета арктического базирования (САБ) в жестких инфраструктурно - климатических условиях (ИКО).

Такой подход приводит к значительному изменению моментов инерции самолета, и уменьшению данного эффекта, за счет использования рациональной моментно-инерционной компоновки. Применение моделей и алгоритмов, использованных при разработке системы автоматизации синтеза моментно-инерционного облика в программном комплексе «МИФ», позволит качественно повысить точность определения моментно-инерционных характеристик перспективных самолетов уже на этапе предварительного проектирования, что обеспечит сокращение затрат на разработку самолетов и исключит необходимость внесения изменений на заключительных этапах.

Проведены проектные исследования влияния инфраструктурно-климатических условий эксплуатации на ЛТХ самолета, рассмотрены факторы и

допущения, принятые в рамках исследования. Поиск новых схемных решений ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ) обусловлен изменением ИКО, сокращением ледяного покрова и потребностью снижения массы пустого снаряженного САБ в период от 2025 до 2090 года.

Рассмотрены альтернативные варианты моментно-инерционной компоновки целевой нагрузки и научного оборудования (постов) в фюзеляже и их влияние на изменение массы фюзеляжа. В совокупности эти данные позволили провести анализ взаимного влияния относительной массы фюзеляжа и параметров моментно-инерционной компоновки зон расположения целевой нагрузки и научного оборудования (постов).

Работа выполнена при государственной поддержке грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – докторов наук (МД-6177.2016.8) и стипендии Президента Российской Федерации для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики (СП-1895.2015.1).

Список литературы

Руководства по производству ледовой авиаразведки. Л.: Гидрометеоздат. 1981. С580.

Куприков Н.М. Учет требований эксплуатации в Арктике на облик летательного аппарата как основа повышения конкурентоспособности на мировом рынке. М.: Журнал Академии Военных Наук. №3(40), 2012. С.120-123.

## **Модификация модели самолёта МС-21 для определения весовых характеристик механизированной консоли крыла в АДТ Т-106**

Левицкий А.В.

ФГУП «ЦАГИ», г. Москва

Существенным этапом разработки летательного аппарата является проведение экспериментов в аэродинамических трубах для оценки их аэродинамических характеристик, а также характеристик устойчивости и управляемости.

Весовые испытания – важнейший тип аэродинамического эксперимента, обязательно предшествующий созданию летательного аппарата. Основной целью весовых испытаний модели является определение при помощи аэродинамических тензосилового взаимодействия воздушного потока с исследуемой моделью и нахождении ее аэродинамических характеристик.

Исследование общих весовых характеристик механизированной консоли крыла МС-21 необходимо для определения всех аэродинамических сил и моментов, действующих на консоль в условиях взлёта и посадки. Для этой работы была произведена модификация модели самолёта МС-21 и левой механизированной консоли крыла. Модель самолёта МС-21 200/300 изготовлена ранее для весовых испытаний на хвостовой державке для АДТ Т-128. Механизированная консоль также была выполнена ранее, однако для более поздней модели самолёта МС-21.

Модификация модели заключается в установке механизированной консоли крыла непосредственно на пятикомпонентные тензосилы, которые из-за своих

крупных габаритов (диаметр тензовесов 100 мм при диаметре фюзеляжа ~230 мм) располагаются в фюзеляже модели. Крепление консоли к тензовесам осуществляется при помощи переходного кронштейна необходимой прочности и жёсткости. Модифицированная модель предназначена для испытаний в АДТ Т-106.

Из-за больших габаритов тензовесов и ограниченного свободного пространства внутри фюзеляжа для крепления консоли к тензовесам, а также тензовесов к силовому сердечнику применён крепёж из специальной высокопрочной стали. В силовом сердечнике фюзеляжа выполнена необходимая для размещения тензовесов выборка, не нарушающая прочности модели.

Из-за того что механизированное крыло было изначально спроектировано под другую геометрию фюзеляжа самолёта МС-21, был изготовлен дополнительный ряд обводообразующих фюзеляжных крышек и зализов консоли, устраняющий несовпадение в геометрии фюзеляжа и консоли.

Конфигурация консоли крыла на исследуемых режимах полёта самолёта осуществляется при помощи сменных элементов механизации, переставляемых на необходимый угол при помощи жёстких фиксаторов.

### **Задача проектирования аварийстойкой топливной системы вертолёта**

Аверьянов И.О., Кузнецов В.М., Маковецкий М.Б.

Научный руководитель – Пугачев Ю.Н.

МАИ, г. Москва

На сегодняшний день актуальной является проблема разработки аварийстойких топливных систем вертолётов.

Разлив топлива, происходящий вследствие нарушения конструкции элементов топливной системы вертолёта в условиях жесткой посадки, часто является причиной возникновения пожара, что в свою очередь может привести к травмам и летальным исходам среди участников происшествия. Данное обстоятельство нашло отражение в изменениях, внесённых в 1994 году Федеральным управлением гражданской авиации США в CFR 29 (аналог АП-29) - пункт 952, регламентирующий требования минимизации угрозы выживания для пилотов и пассажиров, связанной с опасностью возгорания топлива при аварийной посадке. В отечественных нормах летной годности винтокрылых аппаратов АП-29 аналогичный пункт 952 появился в 2001 году. Таким образом, на сегодняшний день все разрабатываемые топливные системы вертолётов должны быть аварийстойкими, при этом проработанность данной темы в практике проектирования отечественных топливных систем вертолётов недостаточная, а экспериментальная база практически отсутствует.

По результатам проведённых за рубежом исследований о различных вариантах предотвращения взрыва и пожара был сделан вывод о том, что наиболее рационально решить проблему поставарийных пожаров можно, уменьшив утечки топлива при повреждении элементов топливной системы. В связи с этим, была выбрана концепция аварийстойкой топливной системы.

В настоящее время в России аварийстойкая топливная система для вертолётов разрабатывается АО «Технодинамика»: на данный момент система прошла

несколько этапов испытаний. Конструкторские работы, связанные с данной технологией, можно условно разделить на два направления: проектирование мягких топливных баков, способных без нарушения герметичности сопротивляться сдавливанию, проколам, порезам, инерционным нагрузкам при гидроударе, и проектирование агрегатов топливной системы, которые должны разрушиться в слабых звеньях при возникновении аварийных нагрузок, обеспечивая при этом герметичность трубопроводов и других элементов топливной системы.

Таким образом, важнейшей задачей при разработке аварийстойкой топливной системы является задача проектирования ее компонентов - топливных баков и агрегатов (фитинги, клапаны, трубопроводы), проводимого на основании механических расчётов. Основной сложностью этих расчетов является удовлетворение комплексных требований к агрегатам системы, поскольку агрегаты должны удовлетворять одновременно требованиям по статической и усталостной прочности, ударному воздействию (АП-29.952), а также массовым характеристикам. В результате, необходимо решать задачу многокритериальной оптимизации сложнонагруженных элементов конструкции топливной системы в связанной постановке, с возможностью корректировки решения по результатам испытаний. Современные вычислительные комплексы, такие, как ANSYS (LS-DYNA), MSCNASTRAN позволяют приблизиться к решению данной задачи. Особый интерес представляет решение связанной задачи механики сплошной среды с использованием инструмента FSI (Fluid Structure Interaction), позволяющей реализовать взаимодействие жидкостей с упругими элементами конструкции системы, для решения задачи проектирования топливных баков.

На данном этапе в первом приближении получены решения задач проектирования компонентов аварийстойкой топливной системы, проведены эксперименты. Дальнейшее совершенствование методик расчётов компонентов топливной системы и систематизация накопленных экспериментальных данных позволят приблизиться к созданию методологии разработки аварийстойких топливных систем вертолётов.

## **Исследование проблемы импортозамещения в сегменте широкофюзеляжных дальнемагистральных пассажирских лайнеров**

Мезенцев С.Е.

Научный руководитель – Силуянова М.В.

МАИ, г. Москва

Ил-96 - единственный широкофюзеляжный дальнемагистральный отечественный пассажирский самолет. Разрабатывался на базе Ил-86 в конце 1980-х. Серийное производство лайнера началось в 1993 году, на настоящий момент серийное производство самолета приостановлено. Всего было построено 28 воздушных судов, часть из которых эксплуатируются в Авиакомпаниях по настоящее время.

В авиакомпаниях РФ эксплуатируются в основном лайнеры иностранного производства, большая часть из которых имеют большой налет и сроки службы. Как следствие участились авиа происшествия на земле и в воздухе с участием импортных лайнеров. Также увеличилась стоимость закупки и эксплуатации

импортных лайнеров в связи с обесцениваем отечественной валюты. В связи с этим существует острая потребность в возобновлении серийного производства отечественного самолета и укомплектовании Эксплуатирующих компании РФ новыми, современными отечественными самолетами.

Однако существует ряд проблем для возобновления серийного производства. Первая это введенные санкции в отношении Российской Федерации со стороны стран участниц НАТО, а также Украины. В связи с тем, что Ил-96 укомплектован большим количеством импортных изделий остро стоит вопрос о замещении этих комплектующих изделий, для обеспечения эксплуатации уже построенных лайнеров, а также для комплектования вновь строящихся самолетов. Для решения указанного вопроса Минпромторг России утвердил план мероприятий по импортозамещению в отрасли отечественной авиации, в том числе на самолеты типа Ил-96. Реализация данного плана осуществляется предприятиями разработчиками ВС.

Вторая проблема отсутствие серийного двигателя с высокой тягой и низким расходом топлива, для повышения экономической эффективности самолета и снижения прямых эксплуатационных расходов на перевозку пассажиров. Для решения этой проблемы двигателестроительная корпорация РФ проводит разработку линейки Перспективных двигателей, для укомплектования самолетов, в том числе и широкофюзеляжных.

Третья проблема численность летного состава в кабине экипажа лайнера. Кабина экипажа основных конкурентов Ил-96 сертифицирована под 2-х членный экипаж, тогда как Ил-96 сертифицирован под 3-х членных экипаж, что ведет к увеличению эксплуатационных расходов самолета. Решением этой проблемы занимаются разработчики отечественного самолета.

Несмотря на ряд трудностей возникающих при замене импортных лайнеров на отечественный неоспоримым является тот факт, что самолет Ил-96 лучший самолет из когда-либо созданных в мире. Летно-технические, эксплуатационные, экономические характеристики лайнера при проведении определенной модернизации выводят его на первое место в мире в своем классе. Но самой главной характеристикой отечественного самолета является безопасность пассажиров и высокая надежность лайнера. По данным МАК за последние 10 лет в странах СНГ произошло 23 катастрофы и 87 аварий, при этом большее половины авиапроисшествий произошло в результате отказа силовой установки (двигателя). Ил-96 единственный самолет в мире, который совершил 6 посадок со всеми выключенными двигателями.

### **К вопросу о влиянии особенностей корабельного базирования на конструктивные параметры шасси вертолёта**

Михайлов Л.И.

Научный руководитель – Сажин А.Н.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

Основной отличительной чертой эксплуатации вертолетов корабельного базирования является то, что их применение осуществляется в большинстве случаев с подвижных вертодромов (палуб авианесущих кораблей), эксплуатация которых происходит в сложных гидрометеорологических условиях.

При этом основными факторами, влияющими на безопасное применение вертолета в процессе взлета и посадки в сложных гидрометеорологических условиях являются поступательные и вертикальные перемещения палубы корабля, вызванные бортовой и килевой качкой.

Отмечается, что при заходе на посадку вертолетов в условиях килевой качки, отслеживание вертикальных перемещений полетной палубы летчиком происходит в противофазе с ее колебаниями, т.е. в момент подлета к палубному срезу вертолет набирает высоту, а палуба идет вниз или наоборот. Все это, в момент контакта с палубой может привести к повышенным нагрузкам, действующим на взлетно-посадочные устройства корабельных вертолетов. Вертикальные перемещения полетной палубы, ее бортовая и килевая качка определяются интенсивностью волнения моря.

Главной задачей работы является определение возможностей боевого применения вертолета соосной схемы с трехопорным шасси с носовым колесом в условиях различного волнения моря по условиям прочности элементов шасси. Для решения этой задачи была разработана Simulink-модель качки корабля, учитывающая размерения корабля при различной степени волнения. Смоделированы килевая, бортовая и вертикальная качка, с оценкой углов деферента и крена корабля, получены величины вертикальных скоростей взлетно-посадочных площадок, а также изменения этих параметров по мере удаления от центра масс корабля. Установлено, что вертикальные и поперечные колебания посадочных площадок усиливаются с увеличением частоты килевой и бортовой качки, а максимальные вертикальные колебания будут на площадках наиболее удаленных от центра масс. При этом поперечные колебания посадочной площадки определяются бортовой качкой и высотой площадки над центром масс корабля.

Таким образом, качка палубы в процессе проведения взлетно-посадочных операций приводит к тому, что сокращается количество вертолетных площадок, с которых возможно безопасное применение вертолета по причине опрокидывания и не превышения предельной скорости контакта его с палубой вертодрома, а при наиболее интенсивном волнении, вообще, исключается возможность использования корабельных вертолетов с кораблей и плавучих платформ. Величины вертикальных скоростей перемещения центра взлетно-посадочных площадок, углы крена корабля используются моделью для расчета на прочность элементов стоек шасси при различных посадочных случаях нагружения.

Таким образом, уточнение величин нагрузок, действующих элементы шасси вертолета в условиях качки корабля позволяют сформулировать требования по условиям применения корабельного вертолета с палубы при различных волнениях моря, а также предложить комплекс конструктивных мероприятий, направленных на обеспечение требованиям корабельного базирования с точки зрения прочности шасси.

## **Математическая модель для автоматизированной компоновки блоков бортового ра-диоэлектронного оборудования на ранних этапах проектирования ЛА**

Петров И.А.

Научный руководитель – Клягин В.А.

МАИ, г. Москва

Целью данной работы является разработка математической модели для автоматизированного решения комплексной задачи компоновки (КЗКО) блоков радиоэлектронного оборудования (БРЭО), являющейся составной частью автоматизированной системы компоновки летательных аппаратов (ЛА).

Проведенный анализ литературы по данному вопросу показал, что опубликованные работы Мальчевского В.В., Пашенко О.Б., Стояна Ю.Г. и др. достаточно качественно и полно описывают проблему, но были изданы более 20 лет назад и потому не учитывают современные возможности ЭВМ, из-за чего имеют следующие недостатки:

- не позволяют учитывать необходимое количество условий, ограничений и высокую степень детализации блоков БРЭО;
- аналитическими модели, описываемые непрерывными выражениями, основаны на статистических исследованиях комплексов БРЭО самолётов 3 и 4 поколений и не могут быть в полной мере применены для авиационных комплексов поколений 4++ и 5. Кроме того данные выражения достаточно сложны и трудно реализуются в программах для ЭВМ.

Из чего следует актуальность разработки новой математической модели КЗКО.

Вербальная постановка решения КЗКО блоков БРЭО может быть сформулирована так: необходимо найти такое расположение блоков БРЭО и коммуникаций, чтобы удовлетворять следующим требованиям:

- все компоновываемые элементы должны размещаться внутри отведенных зон и ни один из них не должен пересекаться с граничными условиями или другими элементами конструкции ЛА и блоков БРЭО;
- должны выполняться все ограничения по расположению компоновываемых элементов, такие как, например, по минимальному расстоянию между элементами исходя из воздействия друг на друга, ориентация исходя из требований ТТТ на блок и др.

Таким образом, автоматизируемый поиск рационального варианта расположения блоков, обеспечивающего экстремум выбранным критериям, является оптимизационной задачей.

Критерии были обоснованы в работе «Выбор критериев для решения задачи автоматизации компоновки БРЭО» Клягиным В.А. и Петровым И.А.

Для решения задач данного класса могут применяться методы комбинаторной оптимизации (КО). В работе была исследована связь между КЗКО на этапах разработки ЛА и задачами комбинаторной оптимизации. Было отмечено, что для нахождения оптимального решения КЗКО необходимо решить следующие задачи КО:

- 3DSP: упаковка контейнера;
- Задача о трехмерной трассировке.

Результатом выполненной работы является математическая модель для автоматизированного решения КЗКО и выявленная связь данной задачи с задачами КО.

## **Исследование влияния структуры ткани на кинетику процесса пропитывания рефлектора космических антенн**

Пье Пху Маунг

Научный руководитель – Малышева Г.В.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Качество изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) закладывается на самом первом этапе их формирования – на этапе пропитывания связующим волокнистого наполнителя. Изделия из углепластиков в условиях массового производства, как правило, получают с использованием препреговых технологий, а в условиях единичного производства – используют технологии вакуумной инфузии. Рефлектор зеркальной космической антенны изготавливается в условиях единичного производства и поэтому самым экономически эффективным методом является технология вакуумной инфузии.

Работа посвящена анализу влияния структуры различных тканей на кинетику процесса пропитывания детали типа рефлектора космических антенн методом вакуумной инфузии. Для проведения моделирования структуры различных тканей в пакете WiseTex построена геометрическая модель тканей, которая далее транслирована в пакет конечно-элементного анализа FETex, где стандартным образом была разбита на конечные элементы. Моделирование кинетики процесса пропитывания проводилось в программе PAM-RTM. В работе исследовано влияние структуры различных тканей, схемы армирования на время пропитывания.

В качестве исходных данных для расчетов экспериментально были определены значения коэффициента проницаемости различных тканей. Используя полученных результатов в моделировании процесса пропитывания, приведено исследование влияния структур тканей на кинетику процесса. Установлено, что продолжительность процесса пропитывания увеличивается при уменьшении значения коэффициента проницаемости. На примере углеродной ткани, были рассмотрены два типа тканых структур: стандартная, у которой комплексная нить имеет форму цилиндра и плосенная, которая имеет прямоугольную форму. В качестве объекта исследований рассматривается рефлектор зеркальной космической антенны, отличительной особенностью которого является наличие поверхностей двойной кривизны.

Сравнение двух типов тканей (плосенных и не плосенных) показало, что стандартные (т.е. не плосенные ткани, имеющие круглое сечение нитей) пропитываются быстрее, чем плосенные, которые имеют прямоугольное сечение. Определены значения времени пропитывания, которое составило для обычной ткани 180 сек и 227 сек для плосенных.

## **Универсальный стенд для моделирования влияния аэроупругих характеристик элерона на рулевые приводы**

Акимов Н.Б., Розин И.В.  
ФГУП «ЦАГИ», г. Москва

В процессе проектирования самолета перед инженерами стоит задача выбора рулевых приводов, предназначенных для отклонения рулевых поверхностей самолета (элерон, руль направления, руль высоты и другие). В ЦАГИ имеется комплекс специализированного оборудования для исследования характеристик рулевых приводов, используемых на современных летательных аппаратах.

Спроектированный универсальный стенд позволяет расширить функциональность имеющегося испытательного оборудования. Основным отличием стенда является исследование влияния массовых и аэроупругих характеристик органов управления на характеристики рулевых приводов. В конструкции стенда заложена возможность моделирования массовых и аэроупругих характеристик в широком диапазоне за счет изменения жесткости силового элемента.

Разработанный стенд имитирует нагрузки возникающие от рулевых поверхностей самолета и предназначен для получения статических и динамических характеристик. На стенде реализована возможность нагружать одновременно 2 работающих рулевых привода и имитировать жесткость траверсы в диапазоне от 4 до 6 кН·м<sup>0</sup>. Стенд способен нагружать рулевые приводы усилиями 5000кгс и 10000кгс и полосе частот 0,1-30 Гц. Элементы конструкции стенда смонтированы на монтажном столе, имеющем размеры (2000х1040)мм. Высота стенда над монтажным столом 290мм. Спроектированный универсальный стенд имеет запас прочности – 4.

Особенностью конструкции является элемент (траверса) имитирующий рулевые поверхности различных самолетов в диапазоне жесткостей от 4 до 6 кН·м<sup>0</sup> и использование в качестве силового каркаса стенда штатного монтажного стола.

Универсальность стенда позволяет испытывать на нём рулевые приводы не только элерона, но и других отклоняемых поверхностей: интерцепторов, тормозных щитков, флаперонов и т.д.

Установка изготовлена в опытном производстве института и находится на стадии проведения запланированных экспериментов по данной тематике.

## **Крупногабаритный демонстратор секции крыла самолёта для исследования увеличения несущих свойств на взлётно-посадочных режимах за счёт активного управления обтеканием в области пилона мотогондолы**

Копылов А.А., Никуленко А.А., Руденко Д.С.  
ФГУП «ЦАГИ», г. Москва

Установка двигателей ТРДД со сверхвысокой степенью двухконтурности на пилонх под крылом самолета приводит к увеличению зоны по передней кромке крыла, в которой невозможно размещение механизации (зона разрыва предкрылка), что приводит к снижению несущих свойств самолета на режимах

взлета и посадки. При этом срыв потока на закритических режимах (режимы с углами атаки, большими, чем при максимальной подъемной силе Сумах) происходит из этого разрыва.

Использование в зоне разрыва предкрылка систем активного управления обтеканием позволяет уменьшить потери в несущих свойствах крыла и уменьшить или устранить вышеуказанный отрыв. Для исследования эффективности и отработки систем спроектирована аэродинамическая модель – демонстратор, представляющая фрагмент консоли крыла в зоне мотогондолы двигателя длиной 5 метров с хордой 3 метра и стреловидностью  $28^\circ$  по передней кромке.

Исследования систем активного управления обтеканием проводятся в аэродинамической трубе Т-101 на демонстраторе при взлетно-посадочной конфигурации в диапазоне скоростей 30-50 м/с на углах атаки  $0^\circ$ – $30^\circ$  с последующей обработкой измерений.

Для большего диапазона исследования активных методов управления течением в зоне разрыва предкрылка, демонстратор оборудуется двумя сменными системами различного типа:

- Воздушный актуатор, основанный на выдуве стационарной или пульсирующей струи на крыло из специальных сопел под углом к поверхности  $30^\circ$ .
- Актуатор синтетических струй, управляющий обтеканием за счет придания импульса потоку посредством колеблющихся мембран без выдува массы.

Для получения картины распределения давления по внешней поверхности на демонстраторе применена система дренажа, включающая три сечения, по 130 точек в каждом, располагающиеся на определенном расстоянии друг от друга по размаху фрагмента крыла. Для определения давления в каждой точке устанавливается так называемый приемник давления с отверстием диаметром 2 мм расположенный на поверхности.

Наряду с системой дренажа на модели применена система визуализации течения, для чего на поверхности модели в исследуемой области применяются так называемые люминесцентные шелковинки и «густое масло». Для видео регистрации визуализированного течения применены светодиодный осветитель и цифровая камера.

## **Исследование влияния дополнительных конструктивных элементов на характер напряжений в шпангоуте овального фюзеляжа**

Салиба М.И.

Научный руководитель – Долгов О.С.

МАИ, г. Москва

На сегодняшний день, имеются различные проекты самолетов с овальным фюзеляжем (фюзеляж с овальным поперечным сечением), один из них проект компании «РосАвиаКонцориум», самолет «Эко-Джет». Данная форма фюзеляжа используется для более эффективного размещения пассажиров во внутреннем объеме фюзеляжа, что повышает топливную эффективность самолета.

Овальная оболочка (гермокабина фюзеляжа), работающая на избыточное давление, характерна возникновением дополнительного момента в ее поперечной плоскости, воспринимаемы шпангоутом. Напряжения от данных нагрузок достаточно значимы, что приводит к утяжелению конструкции фюзеляжа, т.к. для восприятия нагрузок, в ходе проектирования уменьшается шаг между шпангоутами, а шпангоуты в свою очередь рассчитываются как силовые. Известно, что относительная масса овального фюзеляжа на 15-17% больше чем относительная масса цилиндрического фюзеляжа, это снижает разницу в топливной эффективности с 15% до 5-6%.

Один из методов снижения веса шпангоутов, является введение дополнительных силовых элементов воспринимающий возникший момент, и работающие на растяжение/сжатие. Целесообразно рассматривать два типа силовых элементов: Вертикальные стойки, связывающие верхний пояс шпангоута с нижним поясом, крепленные на шарнирах, и силовая балка пола, стягивающая боковые части шпангоута.

Эмпирическим методом с использованием автоматизированным комплексом, задается таких варьируемых параметров как: число вертикальных стоек п.вс., расстояние между вертикальными стойками  $L$  в случае, когда  $p.vt > 1$ , тип крепление силовой балки пола. Ограничения на первичном этапе исследования не вводятся, однако выбирается область варьируемых параметров и границы, исходя из логического соображения, для уменьшение количества исследуемых вариантов.

Данная задача решена методом конечных элементов (МКЭ), используя расчетный комплекс NASTRAN с графической оболочкой FEMAP. Проведено разбиение системы на элементы plate, который представляет собой плоский четырехугольный элемент произвольной формы.

Поперечные стенки смодулированные элементами типа Rod – стержня, работающего только на растяжение-сжатие. А в качестве модели шпангоута и балки - пола выбраны элементы с I-образным сечением типа Beam - стержня, работающего на растяжение-сжатие, изгиб и кручение. Но в отличие от Rod имеющего ряд дополнительных возможностей.

Полученные результаты переведены в массовые коэффициенты, даны в докладе уравнениями с соответствующими графиками и эпюры напряжений, для первичной оценки массы всей конструкции (шпангоут, стойки, балка пола). После анализа заметно, что картина с использованием одного только элемента вертикальной стойки менее эффективно чем при использование двух стоек  $n_{cm}=2$  и на оптимальном расстоянии между ними ( $L_{opt}$ ).

Тем не менее, необходимо так же продолжить работу с исследованием с большим количеством вариантов исполнения, например введение больше варьируемых параметров, таких как, угол установки стоек, декомпозиция стоек на двух составляющих (стойка стягивающая верхний контур с балкой пола имеющий определенный угол установки  $\alpha$ , и стойка стягивающая силовую балку пола и нижний контур, имеющая угол установки  $\beta$ ).

Проведенная работа показывает лишь приблизительную оценку и характер полученных результатов, однако для более точного расчет необходимо провести исследование аналитическим методом, выявлены общие уравнения получение эпюр моментов и перерезывающей силы. Так например полученное уравнение

может быть введено в отдельный расчетный комплекс, задача которого автоматизация проектирования самолетов с овальными или нестандартными фюзеляжами.

Автоматизированный комплекс на основе аналитического исследования задачи, должен исследовать не только овальные фюзеляжи, или определенный набор фиксированных геометрических параметров, а анализировать более широкий спектр заданных варьируемых параметров, таких как геометрические параметры поперечного сечения самолета.

### **Теплообмен на каталитически активной поверхности элементов конструкции гиперзвуковых летательных аппаратов.**

Шкуратенко А.А.

Научный руководитель – Никитин П.В.

МАИ, г. Москва

Дальнейшее развитие ракетно-космической техники связано с созданием изделий нового поколения. К таким изделиям будут относиться, прежде всего, гиперзвуковые летательные аппараты, способные осуществлять маневренный полет как в условиях космического пространства, так и в плотных слоях атмосферы. При полёте в атмосфере с гиперзвуковой скоростью конструкция аппарата подвергается интенсивному аэродинамическому нагреву, что требует специальной тепловой защиты. При этом главная особенность теплообмена выражается в том, что, практически, по всей траектории полета реализуется теплообмен между поверхностью аппарата и химически активным пограничным слоем. Интенсивность теплообмена в таком пограничном слое всецело зависит как от параметров состояния газа набегающего потока, так и от химического состояния смеси компонентов высокотемпературного воздуха в сжатом слое. Эти две особенности определяют тип пограничного слоя: равновесный, неравновесный или «замороженный».

При полете аппарата на высотах выше 60 км, параметры состояния высокотемпературного воздуха таковы, что молекулы, проходя через ударную волну и сжатый слой, диссоциируют на атомы. В свою очередь, атомарный газ, не достигнув химического равновесия, попадает в зону пограничного слоя, диффундирует к поверхности и рекомбинирует на ней. В результате реализации всего этого комплекса физико-химических процессов, значительно увеличиваются тепловые потоки в конструкцию космического летательного аппарата. Это объясняется тем, что на поверхности космического летательного аппарата протекают экзотермические химические реакции. Согласно законам химической кинетики скоростями этих реакций можно управлять, применяя материалы, обладающие свойствами катализаторов или ингибиторов. В том случае, когда на поверхности КЛА применяется материал, обладающий свойством катализатора, реакция поверхностной рекомбинации атомов в молекулы интенсифицируется, а, следовательно, увеличивается тепловой поток в стенку. Если же использованный материал обладает свойством ингибитора, то реакция рекомбинации замедляется или прекращается вообще. В результате, тепловой поток в стенку, обусловленный реакциями рекомбинации атомов кислорода и азота, уменьшается и даже сводится к нулю.

Понятно, что при проектировании космического летательного аппарата, такими свойствами должны обладать теплозащитные материалы, которые используются в конструкции тепловой защиты аппарата. Эти материалы получили наименование материалов с каталитически активной поверхностью.

Исследование степени влияния на теплообмен каталитических свойств ТЗМ очень важно, поскольку известно, что каталитическая активность теплозащитных материалов различных классов может меняться в пределах нескольких порядков.

В докладе анализируются алгоритмы экспериментального определения каталитических свойств материалов тепловой защиты для аппаратов планирующего класса. Актуальность задачи выражается в том, применение таких материалов может в несколько раз снизить интенсивность теплообмена в конструкцию аппарата, а, следовательно, существенно, на 20...30% уменьшить массу тепловой защиты аппарата.

## **Разработка программного комплекса анализа состояния**

### **ПКМ на основе рентгенографии**

Фирсов Л.Л., Юргенсон С.А.

Научный руководитель – Васильев С.Л.

МАИ, г. Москва

Уровень применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкции планера современных гражданских самолетов достиг 50% и в перспективе может увеличиться. Это достигается за счет использования этих материалов в основных силовых конструктивных элементах, к которым предъявляются высокие требования по надежности и безопасности в процессе всего периода эксплуатации [1].

Одним из самых точных методов неразрушающего контроля является вычислительная рентгеновская томография (ВРТ), которая позволяет с высокой разрешающей способностью получить кроме качественной картины состояния структуры материала набор количественных характеристик, определяющих распределение линейного коэффициента ослабления (ЛКО), прямо пропорционального плотности, внутри объекта контроля. На основе этих данных возможно проводить анализ структуры материала, аналогичный продемонстрированному в работе [2]. Данный подход основан на получении осредненных характеристик в рамках конкретного сечения, что не позволяет однозначно характеризовать распределение дефектов, характерных для изделий из ПКМ, по габаритным размерам изделия. В тоже время такое решение необходимо для совместного анализа прочностной трехмерной модели (в части анализа роста трещин) и результатов томографии изделия на основе количественной информации.

Решением данной задачи является специальное программное обеспечение (ПО), позволяющие визуализировать и автоматизировать анализ распределения плотности по томограмме и проводить автоматизированное построение распределения дефектов по высоте (ширине) изделия в плоскостях перпендикулярных плоскости сканирования с выявлением отдельных аномалий плотности. Данное ПО формируется с применением программного комплекса

Matlab на основе графического и численного представления распределения ЛКО в интересующих местах исследуемой конструкции. Построение и расчет необходимых параметров ведется путем обработки численной информации томограммы в конкретном сечении. Преимуществом данного подхода перед существующими [3] является возможность работы с плоскими сечениями без построения трехмерной томограммы образца. Шаг получения сечений должен быть пропорционален или совпадать с шагом сетки на трехмерной модели, чтобы сформировать наиболее точную картину развития повреждений. В тоже время возможно использование локальных сечений для уточнения отдельных мест на модели.

Для проведения анализа формируется два файла – файл для расчета в САЕ программе и выходной файл с данными о дефектах в представленном образце. По результатам томографии в исходную геометрию вносятся дефекты, в соответствии с рассматриваемым уровнем моделирования (могут не учитываться отдельные или все микродефекты или макродефекты). При поэтапном нагружении образца проводится сравнение результатов изменения реального состояния материала, путем сканирования образца после приложения определенного уровня нагрузки и результатами прочностного моделирования с таким же уровнем нагружения.

1. Михайлин Ю. А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. - СПб, 2008. - 648 с.

2. Бойцов Б. В., Васильев С. Л., Артемьев А.В., Юргенсон С. А. «Исследование процесса накопления и развития повреждений в слоистом композиционном материале на основе рентгеновской вычислительной томографии», «Научные труды «Академии проблем качества» «Качество и жизнь -2014», М. 2014 г.

3. Ai Shigang, Zhu Xiaolei, Mao Yiqi, Pei Yongmao, Fang Daining. Finite Element Modeling of 3D Orthogonal Woven C/C Composite Based on Micro-Computed Tomography Experiment. Applied Composite Materials August 2014, Volume 21, Issue 4, pp 603-614

### **Конструкции моделей пассажирских самолётов для испытаний на килевой державке в АДТ Т-128 ЦАГИ**

Шардин А.О., Юстус А.А.  
ФГУП «ЦАГИ», г. Москва

В настоящее время, для определения аэродинамических характеристик крейсерского полета, модели пассажирских самолетов исследуются преимущественно в трансзвуковой аэродинамической трубе Т-128 ЦАГИ. Измерения сил и моментов производится на внутримодельных тензовесах. При этом установка модели в трубе производится на хвостовой державке. Использование хвостовой державки в значительной степени искажает хвостовую часть модели.

Для подтверждения полученных характеристик используются результаты экспериментальных исследований в АДТ Т-106 ЦАГИ на ленточной подвеске. При этом в эксперименте на ленточной подвеске устанавливаются на модель заглушка хвостовой части либо имитатор хвостовой державки. Необходимость

дополнительных исследований на ленточной подвеске приводит к усложнению конструкции модели, а также увеличению трудоемкости ее изготовления. Для проведения всего комплекса экспериментальных исследований в одной аэродинамической трубе (Т-128 ЦАГИ) разработаны конструкции аэродинамических моделей для установки их на килевой державке.

Модели состоят из сменных внешних панелей фюзеляжа, которые крепятся на силовой сердечник. К сердечнику крепится килевая державка с внутримодельными тензовесами, которые позволяют определить действующие на модель аэродинамические нагрузки. Килевая державка устанавливается в рабочей части аэродинамической трубы на механизм, позволяющий менять угол атаки модели во время испытаний. Между килевой державкой и внешними панелями фюзеляжа выполнены зазоры, позволяющие не допустить касания модели и килевой державки. Для предотвращения перетекания потока внутрь модели в зазорах установлена плавающая система уплотнения.

Таким образом, испытания на килевой державке дают возможность оценить влияние хвостовой державки на результаты исследований и позволяют более точно определить аэродинамические характеристики.

К настоящему моменту в АДТ Т-128 ЦАГИ экспериментальные исследования на килевой державке становятся необходимым условием для получения уточненного банка аэродинамических характеристик пассажирских самолетов.

## **СЕКЦИЯ № 46. Материаловедение и технологии металлических материалов**

Руководитель секции: д.т.н., профессор Ильин А. А., академик РАН

---

### **Разрушение титанового сплава ВТЗ-1 в условиях сверхмногоциклового (СВМУ) нагружения**

Алиаров М.Э.

Научные руководители – Беклемишев Н.Н., Никитин А.Д.

МАИ, г. Москва

Усталостное поведение материалов достаточно хорошо исследовано в областях мало и много цикловой усталости: проведено множество экспериментов по физике и механике процессов разрушения различных материалов в области до  $10^6$  циклов нагружения. Однако эксплуатация современных конструкций аэрокосмической техники делает необходимым проведение исследований в области  $10^9$ - $10^{10}$  циклов нагружения [1-3]. Связано это с практической необходимостью подобных исследований. Применительно к авиационной промышленности, показано, что причиной досрочного выхода из строя элементов силовых установок могут стать высокочастотные вибрации лопаток двигателя, приводящие к наработке значительного количества циклов нагружения в процессе предусмотренной конструкцией долговечности для лопаток. Это область сверхмногоциклового нагружения (СВМУ). Исследования в этих условиях требуют принципиально новой методической базы (нового концепта). Определяется это тем, что исследования (макроскопические) проводятся на установках, работающих на частотах нагружения  $\sim 20$  кГц [4], в то время как при малоцикловой и многоцикловой усталости рабочая частота не превышает 1000 кГц.

В работе представлена схема установки (СВМУ) нагружения. Описание исследуемого материала, Российского авиационного титанового сплава ВТЗ-1, прошедший все стадии обработки, предусмотренные при формировании изделий для авиационной промышленности РФ. Описана методика проведения экспериментов в условиях симметричного растяжения – сжатия. Именно исследование материала в режиме симметричного растяжения-сжатия является наиболее информативным для практического применения. Представлены результаты экспериментов по испытанию титанового сплава ВТЗ-1: как макроскопические, так и исследования поверхности разрушения образца, позволяющие показать, что при СВМУ нагружении усталостная трещина развивается под поверхностью образца, в то время как исследования на определения классического предела усталости показывают, что зарождение трещин происходит с поверхности. Рассмотрено понятие предела усталости для титанового сплава ВТЗ-1. Использование установки, схема которой представлена в работе, открывает возможность исследования очагов зарождения трещины, а следовательно и механизмов накопления усталостного повреждения в области сверхмногоциклового усталости. Это возможность выявить дефекты материала, которые проявляют себя при высоких долговечностях и как

следствие позволяет развивать и улучшать существующие технологии производства материалов.

Литература.

[1]C. Bathias, P.C. Paris, Gigacycle Fatigue in Mechanical Practice, Dekker, New York, 2004 ISBN-10: 0824723139

[2]Шанявский А. А., Безопасное усталостное разрушение элементов авиаконструкций. Синергетикавиженерныхприложениях, «Монография», (2003), Уфа, 802с.

[3]T. Nicholas, Critical issues in high cycle fatigue, Int. J. of Fatigue, 21 (1999) S221-S223. DOI: 10.1016/S0142-1123(99)00074-2

[4]C. Bathias, Piezoelectric fatigue testing machines and devices, Int. J. of Fatigue, Vol. 28, Issue 11, (2006), 1438-1445. DOI:10.1016/j.ijfatigue.2005.09.020

## **Распределение температур и структура зоны термического влияния листов из стали марки 20 после лазерной резки**

Алявдина Е.С.

Научный руководитель – Тихонова И.В.

ТулГУ, г. Тула

К числу перспективных процессов разделения материалов следует отнести лазерную резку металлов, основанную на процессах нагрева, плавления, испарения, химических реакциях горения и удаления расплава из зоны резки.

Качество поверхности после лазерной резки оценивается следующими показателями: количеством грата (застывших капель расплава на нижней кромке реза), шероховатостью поверхности реза, протяженностью зоны термического влияния, наклоном стенок реза. Параметрами процесса газолазерной резки являются мощность, скорость резки, давление вспомогательного газа и фокусное расстояние. Для улучшения показателей качества реза необходимо оптимизировать параметры процесса.

Целью настоящей работы явилось исследование влияния и оптимизация режимов лазерной резки на показатели качества поверхности листов из стали марки 20, а также апробация использования комплексных критериев качества при выборе наилучшего режима лазерной резки.

В качестве материала для исследования были выбраны горячедеформированные листы толщиной 6 мм из стали марки 20, из которых с применением лазерной резки по различным режимам вырезали для исследования квадратные образцы размером 40x40 мм с отверстием по центру. В работе, была использована комплексная методика исследования образцов после ЛР.

Макрофрактографический анализ поверхности реза на образцах из стали марки 20 подтвердил отсутствие грата после использования режимов лазерной резки. На поверхности обнаружены две зоны с визуальной разной шероховатостью. Ширина характерных зон на поверхности реза зависит от скорости ЛР. Чем меньше скорость, тем меньше ширина зоны плавления металла и тем шире зона удаления расплава газом. Ширина зон от мощности ЛР в диапазоне 890-1090 Вт практически не зависит.

Характер изменения микротвердости у всех образцов аналогичен: самые высокие значения получены вблизи поверхности реза (320 HV), затем HV снижается до значения, характерного для исходного состояния (160 HV). Вблизи поверхности обнаружен слой со структурой мелкоигольчатого малоуглеродистого мартенсита. Непосредственно к этому слою примыкает зона с неоднородной структурой, состоящая из отдельных зерен феррита и троостно-сорбитной смеси. По мере движения вглубь образца количество ферритных зерен увеличивается и формируются перлитные зерна, количество которых превышает количество перлитных зерен в основной структуре. Структура, не подвергнутая влиянию ИП, представлена феррито-перлитной смесью.

Разработаны математические модели, описывающие параметры ИП  $Rz$ ,  $L$ ,  $a$ . Полученные данные свидетельствуют о том, что увеличение скорости повышает  $Rz$  и  $a$ , но снижают  $L$ , увеличение мощности повышает  $L$ ,  $a$ , но снижает  $Rz$ . Увеличение скорости резки и мощности излучения практически не влияют на температуру в ЗТВ. Наиболее существенное влияние оказывают скорость и мощность оказывают на температуру вблизи поверхности реза.

Многopараметрическая оптимизация с использованием компромиссной целевой функции позволила установить оптимальный режим, при котором наблюдается наиболее благоприятное сочетание всех анализируемых показателей качества реза: для стали 20 -  $V = 1150$  мм/мин,  $W = 900$  Вт.

## **Повышение износостойкости зажимного инструмента электроискровым легированием**

Андреев Д.Н.

Научные руководители – Ибатуллин В.И., Максимов В.К.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

Повышение долговечности (износостойкости) деталей машин, зажимных инструментов и т.п. всегда являлось и является актуальной задачей. При этом известно, что долговечность изделий зависит от служебных характеристик поверхностного слоя.

Из всех методов повышения износостойкости поверхностного слоя нами выбран электрофизический метод нанесения покрытий, обладающий меньшей трудоемкостью - метод поверхностного электроискрового легирования (ПЭИЛ).

К специфическим особенностям этого метода относятся следующие:

- возможность проведения сложнейших микрометаллургических процессов на строго ограниченных участках обрабатываемой поверхности;
- чрезвычайно большое сцепление наносимого слоя с обрабатываемой поверхностью;
- простота и надежность в эксплуатации, используемой аппаратуры.

Перенесенный материал легирует поверхностный слой металла изделия и, соединяясь химически с составляющими элементами материала изделия, атомарным азотом и кислородом воздуха, образует диффузионный износостойчивый слой. При этом в слое возникают сложные химические соединения (карбиды, нитриды, карбонитриды и другие соединения).

Толщина образующегося покрытия при ПЭИЛ в основном составляет от 4 до 100 мкм, и в отдельных случаях до 0,5 мм, шероховатость поверхности

изменяется от  $Ra = 1,25$  мкм (на автоматических установках со следящими системами) до  $Rz = 80$  мкм (на установках ручного легирования) в зависимости от энергии разряда, сплошность покрытия – 65... 100%. Микротвёрдость покрытия достигает 8...16 ГПа в зависимости от природы наносимого материала.

При нанесении на поверхность покрытия большое влияние на его шероховатость и сплошность оказывает частота вибраций электрода, определяемая коммутирующими устройствами (иницирующими разряд) установки и частотой следования эррозирующих импульсов.

Целью данной работы было исследование образования новых соединений, повышающих износостойкость поверхностного слоя в зоне соприкосновения нанесённого материала с основой (диффузионном слое) в зависимости от режимов нанесения покрытия.

При проведении экспериментов использовали установку электроискрового легирования «Сирус–32»: самостоятельно (частота вибрации электрода от 200 до 1500 Гц), так и совместно с аппаратом ультразвуковым УРСК–7Н–18 (для вибрации электрода. Частота колебаний до 26,5 кГц  $\pm 7,5\%$  с амплитудой 15...30 мкм). При этом подача импульсов тока синхронизировалась с вибрацией электрода.

В процессе выполнения экспериментов на образцы, размером 10x10x4 мм, изготовленные из стали 20X13, наносили покрытия из твердого сплава ВК6ОМ. При этом изменяли следующие параметры режима: емкость конденсатора, напряжение между электродами, частоту следования импульсов и частоту колебаний электрода.

Было также проведено рентгенографическое исследование нанесённого слоя.

Анализ результатов показывает, что применение ультразвукового вибратора при ЭИЛ позволяет получить более сплошное покрытие с меньшей шероховатостью, чем с электромагнитным вибратором при одинаковой микротвёрдости и толщине покрытия. А результаты анализа рентгенограмм, снятые в железном нефилтрованном излучении показали, после ЭИЛ при всех опробованных режимах на поверхности стали появляются новые фазы – карбиды  $Co_3W_9C_7$  и  $(Cr,Fe,W)_{23}C_6$  и интерметаллид  $Co_7W_6$ .

### **Влияние особенностей механизма деформации сплавов магния и титана на формирование текстуры при больших пластических деформациях**

Авдюхина А.А., Божко С.А., Воскресенская И.И.

Научный руководитель – Бецофен С.Я.

МАИ, ОАО «ВИЛС», г. Москва; БелГУ, г. Белгород

Анизотропия физико-механических свойств титановых и магниевых сплавов в значительной степени определяется кристаллографической текстурой, что стимулирует исследование процессов формирования текстуры и анизотропии свойств в промышленных полуфабрикатах. Все текстурированные поликристаллы обладают анизотропией, однако для сплавов с ГПУ решеткой эта анизотропия носит более выраженный и сложный характер. В отличие от металлов с кубической решеткой металлы с гексагональной кристаллической

решеткой обладают анизотропией физических свойств, описываемых тензорами второго ранга, из которых для металлургов наиболее существенным является коэффициент теплового расширения. Для  $\alpha$ -титана к этому добавляется также анизотропия дилатации решетки при образовании твердых растворов замещения и особенно внедрения. Близкая ситуация существует и для сплавов магния с РЗМ. Кроме того, для титана и магния характерно сильное влияние легирующих элементов на механизм деформации сплавов, что оказывает влияние на все процессы, связанные с деформацией, включая формоизменение при обработке давлением, служебные свойства и их анизотропию. В работе исследовали закономерности формирования ультрамелкозернистой структуры при воздействии большой пластической деформацией в сплаве системы Mg-Al-Zn (сплав МА 5) и сплаве ВТ1-0, подвергнутых сортовой и поперечно-винтовой прокатке. В сплаве ВТ1-0 с увеличением степени деформации происходит монотонное увеличение интенсивности аксиальной призматической текстуры прутков, в основном за счет призмы первого рода (100), а также незначительно, но монотонно увеличивается величина текстурного коэффициента анизотропии. Это принципиально отличает титановые прутки от магниевых, прокатанных аналогичным образом. Для последних при прокатке также формируется текстура призматического типа, однако, с увеличением степени деформации происходит немонотонное изменение интенсивности текстуры. Различное поведение при прокатке титана и магния обусловлено принципиальным отличием их механизма деформации. Для титана характерно, что наиболее легко активируемым является призматическое скольжение, которое действует при всех степенях деформации, поскольку фактор Шмида для этого скольжения сохраняет высокие, близкие к максимальному (0,5) значения. При этом формируется конечная текстура  $\langle 100 \rangle$  как компромиссная ориентировка в результате действия нескольких призматических систем сдвига с вектором Бюргерса  $1/3 \langle 110 \rangle$ . Для магния активно базисное скольжение, величины фактора Шмида для которого имеют низкие значения для призматических ориентировок, что приводит к активации систем сдвига, для которых вектора сдвига не совпадают с плотноупакованным направлением  $\langle 110 \rangle$ . Это, в конечном счете, приводит к немонотонному характеру текстурообразования в магниевых сплавах. Этот эффект имеет серьезные последствия в плане перспектив применения деформированных магниевых сплавов, поскольку резкие изменения текстуры для магниевых сплавов с выраженной анизотропией свойств будет приводить к непредсказуемым изменениям механических свойств на различных стадиях деформации. Это ограничивает и осложняет применение магниевых полуфабрикатов в ответственных элементах конструкций.

### **Влияние легирования РЗМ на различные классы материалов**

Азаров А.А., Смертин В.И., Снегирев А.О.

Научный руководитель – Грушин И.А.

МАИ, г. Москва

Разработка техники не стоит на месте. Она постоянно требует разработки новых материалов или совершенствования существующих за счет повышения их уровня свойств. Одним из методов достижения данной цели является

добавление редкоземельных элементов, в виде микродобавок, в конструкционные материалы. В последнее время большое внимание уделяется влиянию микродобавок РЗМ на структуру и свойства сплавов. Поэтому в работе была поставлена задача проанализировать по литературным источникам влияние РЗМ на структуру и свойства сталей и цветных сплавов.

Как известно, к редкоземельным элементам относят 17 химических элементов (Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) большинство их физико-химических свойств металлов определяются их электронным строением. Редкоземельные металлы имеют близкие свойства, что объясняется структурой их двух внешних электронных уровней (оболочки S и P) у них почти не изменяется, так как дополнительные электроны заполняют более глубоко лежащий 4f-уровень (кроме гадолиния и лютеция, которые заполняют 5d-подуровень).

Использование РЗМ в металлургии в виде небольших добавок основано на их большом сродстве к кислороду, сере, водороду, фосфору и мышьяку, примеси которых ухудшают свойства сталей и сплавов. Взаимодействуя с этими примесями, РЗЭ связывают их в тугоплавкие соединения, что способствует повышению механических свойств чугуна, сталей и сплавов цветных металлов. Кроме того, РЗМ влияют на величину зерна металлических материалов: небольшие добавки приводят к его измельчению и соответственно повышению механических свойств.

Рассмотрим основные преимущества добавления РЗЭ в различные материалы:

Добавление РЗЭ в стали повышает их качество: улучшает механические свойства, коррозионную стойкость и жаропрочность, облегчается обрабатываемость, повышается температура рекристаллизации. Например, при добавлении иттрия и церия в количестве 0,02%, способствует измельчению зерна и повышению коррозионной стойкости, повышению пластичности при горячей обработке давлением, а также уменьшению хрупкости сталей за счет выделения соединений серы, углерода и азота по границам зерен.

Добавление РЗЭ в алюминиевые сплавы вносит вклад в изменение их структуры и свойств, позволяет увеличить их прочность при высоких температурах. Не смотря на то, что растворимость РЗЭ в алюминии небольшая, даже эти малые добавки могут оказать значительное влияние на свойства алюминиевых сплавов. Анализ литературы показал, что присутствие РЗЭ в алюминиевых сплавах дает следующие преимущества: улучшает жаропрочность; увеличивает устойчивость к коррозии; повышает вязкость сплава; повышает физико-химические свойства.

При добавлении РЗЭ в титановые сплавы образуются тугоплавкие соединения с легкоплавкими примесями, улучшается структура окисной пленки, это свойство является важным для жаропрочных сплавов, что позволяет либо повысить температуру эксплуатации, либо увеличить длительность нахождения сплава при рабочих температурах без разрушения. Например, введение малого количества РЗЭ (около 0,1%) в сплав ВТ23 повышает его механические свойства: предел прочности, относительное удлинение. Таким образом применение РЗМ для получения современных материалов является актуальной и перспективной задачей. Возможности их дальнейшего использования далеко

еще не исчерпаны, проводятся всевозможные исследования влияния РЗЭ на свойства различных сплавов.

## **Влияние предварительной деформации на характеристики памяти формы интерметаллида TiNi**

Барынин В.В.

Научный руководитель – Маркова Г.В.

ТулГУ, г. Тула

Сплавы на основе никелида титана являются в настоящее время наиболее перспективными материалами, способными к проявлению эффектов памяти формы (ЭПФ) и сверхупругости (СУ). Помимо указанных эффектов, они также обладают редким комплексом физико-механических свойств: высокой прочностью и пластичностью, высокими демпфирующими свойствами, хорошей коррозионной стойкостью и биосовместимостью.

В данной работе был исследован классический сплав с эффектом памяти формы (ЭПФ) на основе никелида титана Ti – 50,6 % (ат.) Ni (промышленный сплав TN1).

Сплав Ti-50,6 % (ат.) Ni использовали для исследования в виде проволоки  $\varnothing=0,9$  мм, которая была получена теплым волочением. Образец сплава перед испытанием подвергли отжигу в вакууме при  $t = 650$  °С и провели травление в смеси кислот:  $1HF + 3HNO_3 + 6H_2O_2$  в течение 7 минут для снятия поверхностного окисленного слоя. В последующем произвели измерения внутреннего трения, которые показали, что температура мартенситного превращения располагается выше комнатной, следовательно образец находится в мартенситном состоянии. Для оценки СУ и памяти формы (ПФ) в сплаве TiNi использовали установку, работающую по принципу обратного крутильного маятника, разработанную на кафедре ФММ ТулПИ [1].

Образец подвергали деформации кручением ( $\gamma_{пр}=1...7$  %) при комнатной температуре  $T_{комн} = 25$  °С. Затем нагрузку снимали, в результате чего образец частично раскручивался на угол, соответствующий упругой деформации ( $\gamma_{упр}$ ). В последующем производился нагрев образца до 170 °С со скоростью 1 °С /мин и охлаждение до комнатной температуры. В процессе нагрева /охлаждения проводили измерения угла закручивания /раскручивания.

По полученным экспериментальным данным строили графики зависимостей  $\gamma(T)$  по которым определяли характеристики ПФ: восстановленная ( $\gamma_v$ ) и невосстановленная ( $\gamma_n$ ) деформации.

Показано, что с увеличением степени предварительной ( $\gamma_{пр}$ ) упругая деформация ( $\gamma_{упр}$ ) увеличивается по линейному закону, что соответствует литературным данным полученным на сплаве Ti-50,7 % (ат.) Ni [2]. Максимальное значение  $\gamma_{упр}$  составляет 2,3 % ( $\gamma_{пр} = 7$  %). Обнаруженное повышение  $\gamma_v$  при росте  $\gamma_{пр}$  объясняется увеличением доли мартенситных (или аустенитных) кристаллов, благоприятно ориентированных по отношению к внешней нагрузке. Это свидетельствует о том, что материал обладает эффектом сверхупругости, который характерен для сплавов с ЭПФ, в отличие от сталей в которых  $\gamma_{упр}$  не превышает 0,2 %.

Список использованной литературы:

1. Патент РФ № 92538 Опублик. БИ №8 от 20.03.2010, МПК8 G01N 3/38, Устройство для измерения параметров восстановления формы в материалах, Архангельский С.И., Лабзова Л.В., Маркова Г.В., Чуканов И.В.

2. Ильин А.А. Исследование механизмов формоизменения при деформации и нагреве титановых сплавов с эффектом запоминания формы / А.А.Ильин, М. Ю. Коллеров, И. С. Головин, А. А. Шинаев //Металловедение и термическая обработка металлов. Машиностроение. – 1998. – № 4. – С. 12-16.

## **Применение программного обеспечения в материаловедении**

Беляев А.В.

Научный руководитель – Галимов Э.Р.

КНИГУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

В настоящее время в России определены стратегические направления развития в области материаловедения: «умные» конструкции, компьютерные методы моделирования структуры и свойств материалов, интеллектуальные материалы и покрытия, энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии, полимерные композиционные материалы, аморфные материалы и покрытия, сверхлегкие материалы и др.

Современное общество нуждается в специалистах, способных решать различные технологические задачи. Специфика подготовки студентов в технических ВУЗах вызывает необходимость разработки учебно-методических комплексов, удовлетворяющих требованиям стандартов высшего образования, в том числе и международных (CDIO).

Весьма актуальной задачей является создание и внедрение виртуальных экспериментов и лабораторий на базе компьютерных классов с применением современных информационных технологий и программных продуктов, таких как CSEduPack и CESSelector. Разработки GrantaDesign широко используются в образовании, научных исследованиях и промышленности (в курсе материаловедения, включая выбор материалов; машиностроении; металлургии; производстве; науках о полимерах).

Существующий марочный ассортимент материалов и интенсивное обновление их номенклатуры, непрерывное расширение областей применения продукции на их основе вызывает необходимость обоснованного подхода к выбору материалов для проектируемых изделий с учетом технической и экономической целесообразности. С применением продукта CESSelector существенно упрощается работа с выбором материалов, имеется возможность включать в общую базу данных собственные материалы и синтезировать новые. При подготовке бакалавров, магистров и аспирантов параллельно с имеющейся литературой в области материаловедения (М. Ашби, М.К. Будински, Арзамасова Б.Н. и др.) успешно может быть использована программа EduPack и специальные базы данных.

В обучении студентов технических специальностей отдельная роль отводится использованию программных продуктов CAD/CAM/CAE, которые широко применяются на лабораторных занятиях, в курсовом проектировании и др. К таким продуктам относится программная система NX от SIEMENSPLMSoftware,

включающая средства двухмерного и трехмерного проектирования САД, промышленного дизайна, автоматизации создания программ для станков с ЧПУ и САЕ, необходимый для автоматизации инженерных расчетов, анализа и симуляции физических процессов. К специальным возможностям, востребованным в области материаловедения и технологии материалов, можно отнести проектирование листовых деталей с помощью штамповки, вытяжки, формовки, различных методов сварки, создание конструкций из композитных материалов и др.

При освоении дисциплины «Материаловедение» студентам необходимы навыки обработки, систематизации и анализа информации, полученной из научных статей, диссертаций, монографий, патентов и др., размещенных на электронных ресурсах, в том числе и на иностранных языках. Здесь также полезной окажется программный продукт CSEduPack.

Таким образом, для успешного изучения курса «Материаловедение» необходим комплексный подход с использованием последних достижений в области материалов и технологий их переработки, современной экспериментальной базы, а также средств обучения с применением информационных технологий и прикладных компьютерных программ, позволяющих выпускать специалистов высокого уровня.

### **Исследование коррозионной стойкости сварных полуфабрикатов из алюминиевого сплава 1151 в общеклиматических условиях**

Беляева М.М., Астахов Е.Е., Соловьева И.В.

Научные руководители – Егорова Ю.Б., Давыденко Л.В.

МАИ, Ступинский филиал; МГМУ (МАМИ), г. Москва

В конструкциях современной авиационной техники основным конструкционным материалом являются легкие сплавы на основе алюминия, имеющие значительно меньший удельный вес, хорошую технологичность и освоенность отечественной промышленностью, и которые составляют 75-90% от веса конструкции планера. Внедрение алюминиевых сплавов с повышенными характеристиками жаропрочности при температурах, соответствующих нижнему пределу работы титановых сплавов ( $450^{\circ}\text{C}$ ), с высокой коррозионной стойкостью, хорошей свариваемостью и стабильностью структуры и свойств позволит снизить не только массу, но и стоимость авиационной техники, а также повысить ресурс ее работы. Сплав 1151Т имеет достаточно высокие значения прочностных характеристик при 20 ( $\sigma_b=463,0$ ;  $\sigma_{0,2}=318,0$  МПа) и  $450^{\circ}\text{C}$  ( $\sigma_b=43,0$ ;  $\sigma_{0,2}=23,0$  МПа), одновременно высокую пластичность, практически неизменяющуюся при 20- $350^{\circ}\text{C}$  ( $\delta=19\%$ ) и возрастающую при 400- $450^{\circ}\text{C}$  ( $\delta=73\%$ ), обладает повышенной жаропрочностью: при  $450^{\circ}\text{C}$   $\sigma_b=43,0$  МПа,  $\sigma_{0,2}=23,0$  МПа,  $\delta=78,0\%$ .

В рамках данной работы была исследована коррозионная стойкость сварных соединений конструкционного алюминиевого деформируемого жаропрочного сплава 1151 с целью замены титановых сплавов в изделиях с ограниченным ресурсом работы. Объектами исследования послужили листы толщиной 2,5 мм и поковки в термообработанном состоянии. По результатам механических испытаний определяли следующие характеристики:  $\sigma_b$ ,  $\sigma_{0,2}$ ,  $\delta$  при  $20^{\circ}\text{C}$  и

повышенных температурах 200-450<sup>0</sup>С (в долевом и поперечном направлении). Коррозионную стойкость в растворе 3% NaCl + 1% HCl изучали на образцах, изготовленных из листов  $\delta=2,5$  мм и поковок в естественно состаренном состоянии. Автоматическая аргоно-дуговая сварка (ААрДС) сплава 1151 проводилась с применением надежно фиксирующей оснастки. Режимы сварки подбирали таким образом, чтобы сварное соединение формировалось под действием минимально допустимого тепловложения. В качестве присадочного материала при сварке применяли сварочную проволоку из сплава 1177.

На основе проведенных исследований было установлено, что при 20<sup>0</sup>С сварные соединения имеют прочность 0,8-0,9, а при 250<sup>0</sup>С и выше – 1,0 от прочности основного материала при односторонней сварке. Для получения оптимальных прочностных свойств сварные полуфабрикаты не целесообразно подвергать какой-либо термообработке после сварки или усиливать за счет утолщения свариваемых кромок. Для сварного соединения сплава 1151Т не является характерным пористость, окисные пленки и т.п. Коррозионная стойкость сплава 1151Т удовлетворительна, так как исследованные образцы не склонны к межкристаллитной коррозии. Сварное соединение сплава 1151Т имеет пониженную по сравнению с плакированным листом коррозионную стойкость. Наиболее чувствительны к воздействию коррозии участки зоны термического влияния, расположенные параллельно по обе его стороны на расстоянии 2-5 мм от сварного шва. Ширина этих участков и степень их коррозионного поражения находятся в прямой зависимости от величины тепловложения и качества теплоотвода при сварке.

### **Особенности получения стальных толстолистовых композиционных материалов сваркой взрывом**

Беляков М.О., Лата А.Н., Тунгулуков Ф.А.

Научный руководитель – Кузьмин С.В.

ВолгГТУ, г. Волгоград

Для работы деталей, аппаратов и узлов в условиях интенсивного трения, износа или в средах с высокой химической активностью целесообразным является применение биметаллов, полученных сваркой взрывом. В отдельных случаях для повышения ресурса необходимо, чтобы толщина плакирующего слоя составляла более 16 мм, что весьма проблематично для данного метода.

Существенную сложность, во-первых, представляет то обстоятельство, что при увеличении толщины плакирующего листа значительно падает угол соударения, поскольку в окрестности точки контакта появляется закругление, что было подтверждено экспериментами по определению профиля метаемой пластины в процессе соударения на основе широко известной реостатной методики. Во-вторых, по причине значительной массы метаемого элемента происходит чрезмерное увеличение кинетической энергии в зоне соударения, что ведет к возникновению локальных участков оплавления или даже формированию сплошной прослойки расплава. Решение проблемы представляется возможным лишь за счет снижения скорости соударения и скорости точки контакта, что также позволяет увеличить время действия давления продуктов детонации даже после прихода волны разгрузки.

За счет использования угловой схемы при сварке взрывом двух стальных пластин толщиной 25 мм был искусственно увеличен реальный угол соударения, но получить качественное равнопрочное соединение удалось лишь на небольшом участке в начальной зоне, после чего в направлении движения фронта детонации на линии соединения появились оплавы, вследствие чего резко упала прочность. Вероятно, если снизить скорость точки контакта, то получится значительно увеличить участок качественного соединения, на котором реализуется равнопрочность.

В другом случае за счет использования взрывчатой смеси со скоростью детонации порядка 2000 м/с (что считается низким значением) было получено соединение при толщине плакирующего листа 20 мм и неподвижного – 50 мм. Оплавов и расслоений по всей линии соединения не наблюдалось, прочность на отрыв слоев составила около 90% от исходного материала.

Особенностями сварки взрывом толстолистовых композиционных материалов являются значительная масса метаемого элемента, а, следовательно, энерговыделение; наличие закругления метаемого листа в точке контакта; отсутствие в зоне соединения характерного для сварки взрывом волнообразования.

Таким образом, получение равнопрочного соединения при сварке взрывом толстолистовых биметаллов возможно либо за счет использования угловой схемы, которая подходит для небольших по длине заготовок, либо за счет увеличения времени действия сжимающих напряжений путем снижения скорости детонации взрывчатого вещества при параллельной схеме.

### **Исследование механизма деформации сплава системы Mg-Al-Zn**

Божко С.А., Воскресенская И.И., Петров А.А.

Научный руководитель – Бецоффен С.Я.

МАИ, г. Москва; БелГУ, г. Белгород

Текстурные эффекты играют важную роль в технологических характеристиках Mg сплавов. Несмотря на многочисленные работы, посвященные вопросам текстурообразования и анизотропии свойств в сплавах магния, существуют серьезные пробелы в понимании закономерностей деформационного поведения сплавов различных систем легирования. В этой связи в настоящей работе исследовали действующие механизмы деформации в промышленном сплаве системы Al-Mg-Zn (MA5). Для идентификации действующих в сплаве механизмов деформации исследовали переориентацию зерен образцов при деформации сжатием в осевом направлении прутков на 2-8%. В исходном состоянии образцы в направлении вытяжки имели текстуру призматического типа средней интенсивности, полная плотность (ПП) рефлексов не превышала 2 единицы бестекстурного эталона. Сжатие на 2% приводит к существенному изменению ПП рефлексов, так ПП рефлексов типа  $(hk\bar{i}0)$  снижаются на треть (ПП рефлекса  $(10\bar{1}2)$  уменьшается от 2 до 1,3 единиц. При этом ПП базиса увеличиваются от 0,25 до 2,25. Это однозначно связано с действием «растягивающего»  $\{10\bar{1}2\} \langle 10\bar{1}1 \rangle$  двойникования, которое дает переориентацию на  $86,5^\circ$ , что почти точно соответствует переориентации нормали к  $(10\bar{1}0)$  в положение нормали к  $(0001)$ . После деформации сжатием на

8% призматические ориентировки полностью переходят в базисные за счет передвойникообразования. Однако увеличение ПП базиса несколько отстает от уменьшения ПП призматических плоскостей  $\{10\bar{1}0\}$ , что особенно заметно на последнем этапе деформации (8%), когда ПП базиса практически не меняется, а ПП призматических плоскостей заметно снижается. Этот эффект может быть связан только с действием систем сдвига, активных при сжатии вдоль оси «с» («сжимающие» системы сдвига). Такими системами могут быть  $\{10\bar{1}1\} \langle 10\bar{1}2 \rangle$  двойникование и  $\langle \bar{c} + \bar{a} \rangle$  скольжение. Обе эти системы способны переориентировать базисные зерна и тем самым снижать ПП базиса. Активность этих систем, которые характеризуются существенно более высокими критическими напряжениями сдвига по сравнению с базисным скольжением и «растягивающим» двойникованием, может быть связано с двумя причинами: во-первых, увеличение доли зерен с базисной ориентировкой требует их участия в деформации для обеспечения ее однородности; во-вторых, рост напряжений течения за счет деформационного упрочнения при действии «легких» систем сдвига (базисное скольжение и «растягивающее» двойникование) стимулирует активность более «тяжелых» систем сдвига. Анализ изменения полюсной плотности различных рефлексов на последовательных стадиях деформации дает возможность выявить следы базисного скольжения даже при деформациях менее 8%. Базисное скольжение при сжатии приводит к такой переориентации зерен, при которой их базисные плоскости стремятся занять положение нормальное оси сжатия. С увеличением степени деформации изменения ПП происходят не только для базисных и призматических плоскостей (доля первых повышается, а вторых - убывает), для которых эти изменения однозначно связаны с двойникованием, а также и для других ориентировок. При этом происходит повышение полюсной плотности отражений от плоскостей, нормали к которым составляют 25-40° с осью «с» и уменьшение ПП для отражений от плоскостей, нормали к которым составляют углы 40-80° к оси «с». Это является следствием активности базисного скольжения, которое производит повороты зерен таким образом, чтобы их нормали к плоскости базиса смещались в направлении оси сжатия, что на ОПФ проявляется как увеличение ПП близких к базису ориентировок.

### **Применение метода мультифрактальной параметризации для изучения микроструктуры чугуна**

Бондаренко Д.И.

Научный руководитель – Фомичева Н.Б.

ТулГУ, г. Тула

Многолетний опыт численного фрактального анализа изображений микроструктур материалов показывает его эффективность при анализе скрытых процессов, происходящих в металлах и сплавах. Методология мультифрактальной параметризации структур материалов разработана и описана в трудах А.Г. Колмакова, Г.В. Встовского, В.С. Ивановой, И.Т. Бунина, А.С. Баланкина, А.А. Оксогаева и др.

В данной работе проведено исследование механизма формирования графитных включений высокопрочного чугуна и рассмотрена применимость

метода мультифрактальной параметризации для описания морфологических особенностей и механизма формирования глобулярных включений графита в высокопрочном чугуна.

В работе был использован метод генерации мер огрубленных разбиений (МГМОП), созданный Встовским Г.В., и способов численного определения мультифрактальных спектров с помощью, разработанной им программы MFRDrom. Программа позволила реализовать мультифрактальную обработку оцифрованных изображений структур на основе МГМОП с использованием алгоритмов автоматического анализа канонических и псевдоспектров по схемам FE-OR. Мультифрактальный анализ несёт в себе большой объём информации о цифровом изображении, однако его использование недостаточно активно.

Подготовка образцов к параметризации в программе MFRDrom включала вырезку и изготовление микрошлифа, травление, фотографирование, оцифровку изображений, выделение нужного количества областей необходимого размера из микроструктуры, преобразование изображений.

Для работы в программе MFRDrom проводили предварительную обработку изучаемых изображений с использованием программы AdobePhotoshop 7. Для этого из полученных с цифровой камеры фотографий вырезали области размером 480x480 пикселей, преобразовывали в битовый формат bmp с максимальной контрастностью 100 % для расчета в программе MFRDrom.

В результате исследований получено, что фрактальная размерность графита имеет более низкие значения, чем фрактальная размерность феррита, где формируются графитные включения, что обусловлено правилом, согласно которому геометрический объект, имеющий меньшую фрактальную размерность, размещается только в объекте с большей размерностью.

В работе также была проведена оценка распределения графитовых включений в структуре чугуна как морфологического параметра графитовой фазы, который не может быть численно определен по стандартным методикам.

Был проведен также общий мультифрактальный анализ всего изображения микроструктуры чугуна.

## **Влияние геометрии транспедикулярных винтов из сплава ВТ6 на их биомеханическую стабильность**

Борисов А.А., Гордеев Д.С., Сайфутдинова М.С.

Научный руководитель – Гусев Д.Е.

МАИ, г. Москва

Титан является прочным и легким материалом, поэтому его сплавы нашли широкое применение в авиационно-космической промышленности. Так же титан обладает высокой коррозионной стойкостью, биосовместимостью и биоинертностью, что может характеризовать его как медицинский материал, в частности – для создания имплантатов. Для фиксации сегмента позвоночника при различных заболеваниях или травмах используют транспедикулярные конструкции (ТК). Надежность любой конструкции зависит не только от структуры материала, но и от геометрии самой конструкции.

В работе проводили испытания анкерного устройства транспедикулярных винтов разных производителей. Винт нагружали согласно ASTM F 1798 по двум

схемам - либо по оси Y либо по оси Z (ось X направлена вдоль винта, ось Z – вдоль балки, закрепленной в анкерном устройстве). Критерием верхней границы работоспособности анкерного устройства является нагрузка, при которой оно перестает работать в упругой области. В этот момент начинается проворачивание резьбовой части винта в анкерном устройстве и/или поворачивание анкерного устройства относительно балки.

В направлении оси Y наивысшим уровнем критической нагрузки (КН) отличаются винты StrykerDiarason и Медбиотех (КН больше 200 Н). Средний уровень (значения КН в интервале от 100 Н до 200 Н) наблюдается у винтов XRBEST, Medtronic, Y-BETTER, OsteoМед, Aescular, ORTO, Bonovo, Stryker, CHM. Наименьшие значения КН (менее 100 Н) характерно для винтов IRENE и MedtronicCDBasis. В направлении оси Z высокую степень надежности анкерного устройства (КН больше 400 Н) показали винты Y-BETTER, ORTO, CHM, Medtronic. Средняя степень надежности (КН от 200 Н до 400 Н) наблюдается у винтов StrykerDiarason, Медбиотех, Aescular, IRENE, MedtronicCDBasis, OsteoМед, Bonovo, XRBEST. Наименьшая (КН менее 200 Н) - характерна для винтов фирмы Stryker.

Было исследовано влияние профиля резьбы ножки винта на его нагрузку сопротивления осевому вытяжению (pull-out) из деревянных блоков, поскольку волокно дерева имеет схожую структуру с костной тканью. Винт вкручивали в отверстие под углом 90° к гладкой поверхности блока. Для этого в деревянном блоке, сверлом, меньшим по диаметру, чем внутренний диаметр винта, создавалось отверстие необходимой глубины. Винты вкручивали на глубину трех либо десяти витков. Усилие вытяжения винта определяли на универсальной разрывной машине.

Результаты испытаний показали, что нагрузка вытяжения увеличивается при увеличении разности внешнего и внутреннего диаметров, а также при увеличении площади поверхности витка и при увеличении шага резьбы. Например, максимальную нагрузку в испытании на три витка показали винты фирмы CHM (813Н) и MedtronicCDBasis (869Н), на десять витков – Y-BETTER (2630Н) и Walkman (2574Н). Снижение нагрузки сопротивления вытяжению происходит при увеличении угла наклона резьбы. Минимальная нагрузка в испытании на три витка - Irene (570Н), на десять витков –Irene (1945Н) и OsteoМед (1730Н). Винты фирм Irene, Aescular и Walkman, имеющие постоянный профиль резьбы на всей длине ножки, показали линейную зависимость нагрузки сопротивления вытяжению от количества вкрученных витков, что позволяет сделать заключение о равномерном распределении нагрузки по всем виткам резьбовой части винта.

Проведенные исследования позволили оптимизировать требования, предъявляемые к геометрическим характеристикам транспедикулярных винтов из сплава ВТ6.

## **Влияние гадолиния на структуру и свойства жаропрочного титанового сплава ВТ18У в литом состоянии**

Борисов А.А., Касьмова Е.А., Мамонтова Н.А.

Научный руководитель – Скворцова С.В.

МАИ, г. Москва

Одним из перспективных путей повышение эксплуатационных свойств жаропрочных титановых сплавов является применение редкоземельных металлов (РЗМ), в частности гадолиния. Он имеет ограниченную растворимость в  $\alpha$ -фазе, снижает температуру полиморфного превращения, т.е. относится к классу  $\beta$ -стабилизирующим легирующим элементам, а также способен образовывать тугоплавкие соединения с легкоплавкими примесями, что может приводить к образованию дополнительных центров кристаллизации и тем самым улучшать структуру и как следствие свойства материала.

В работе рассмотрено влияние добавление гадолиния на структуру слитков трех составов из жаропрочного псевдо- $\alpha$  титанового сплава ВТ18У. Исследования микроструктуры показали, что увеличение концентрации гадолиния приводит к изменению внутризеренной литой структуры: наблюдается постепенное уменьшение длины пластин  $\alpha$ -фазы с постепенным образованием структуры «корзинчатого плетения», близкой к видманштеттовой, при этом видимых изменений в макроструктуре слитков не наблюдается.

Для того, чтобы оценить влияние содержания гадолиния на размер исходного  $\beta$ -зерна, образцы, вырезанные их верхней части слитков были закалены с температуры 1060°C, которая по предварительной оценке на основании литературных и справочных данных должна для всех составов соответствовать  $\beta$ -области. Размер зерна оценивался на оптическом микроскопе AxioObserverAlm с использованием программы ImageExpertPro3. Замеры проводили в двух взаимно перпендикулярных направлениях не менее чем в 15 полях зрения. Исследования показали, что средний размер исходного  $\beta$ -зерна составляет около 1700 мкм, а дополнительное легирование гадолинием вплоть до 0,2 масс. % приводит к незначительному уменьшению его.

Проведенный рентгеноструктурный анализ образцов, вырезанных из слитков сплавов разного химического состава показал, что фазовый состав соответствует псевдо  $\alpha$ -титановым сплавам: основу составляет  $\alpha$ - матрица с небольшой (не более 5%) объемной долей  $\beta$ -фазы. Никаких дополнительных рефлексов, соответствующих другим фазам, выявлено не было.

Таким образом, проведенные исследования показали, что дополнительное легирование сплава ВТ18У гадолинием не оказывает существенного влияния на размер исходного  $\beta$ -зерна в литом состоянии, но способствует измельчению внутризеренной структуры.

## **Влияние зернистости наполнителя на работоспособность бурового инструмента**

Бачеева А.В., Бриштель Я.С., Петухова О.С.  
Научный руководитель – доцент Ягудин Т.Г.  
МАИ, ГБОУ СОШ №1293, г. Москва

Как свидетельствует отечественный и зарубежный опыт, композиционные материалы с металлической матрицей, упрочненной тугоплавкими высокомодульными высокопрочными частицами, перспективны для применения в различных отраслях, в том числе при бурении скважин.

При соответствующем составе матричных сплавов и определенной объемной доле армирования дисперсные частицы стабилизируют структуру композиционных материалов, тем самым косвенно обеспечивая повышение прочности и износостойкости.

Следует отметить, что темпы повышения механической скорости бурения с увеличением осевой нагрузки практически не зависели от размера частиц наполнителя. Это свидетельствует о том, что механизм разрушения горной породы при изменении размеров частиц WC с 40 до 160 мкм не изменяется. Однако при такой же осевой нагрузке с увеличением размеров зерен WC механическая скорость бурения повышается. Это свидетельствует о высокой вероятности того, что крупные зерна WC, обнажившиеся на рабочей поверхности матрицы, могут в дополнение к алмазам участвовать в разрушении предразрушенной ими горной породы. Зависимости интенсивности изнашивания коронок от осевой нагрузки показаны на рисунке.

Следует отметить, что для всех коронок так же, как и для механической скорости бурения, характерна общая закономерность прямопропорционального повышения интенсивности изнашивания алмазонасной матрицы при росте осевой нагрузки.

У коронок с зернистостью наполнителя WC зернистостью -40 мкм была зафиксирована наибольшая величина интенсивности изнашивания матрицы коронки. Повышение осевой нагрузки с 750 Н до 1500 Н вызывало ее рост в 2,73 раза (с 11 мкм/м до 30 мкм/м).

У коронок с наполнителем WC зернистостью 125/80 и 160/125 мкм повышение осевой нагрузки с 750 до 1500 Н приводит к повышению интенсивности изнашивания их матрицы соответственно с 7 мкм/м до 27 мкм/м (в 3,86 раза) и с 5 мкм/м до 24 мкм/м (в 4,8 раза).

Таким образом, с увеличением зернистости наполнителя WC повышение темпов интенсивности изнашивания приводит к снижению ее величины при всех исследованных сочетаниях параметров режима бурения. Интересно, что с увеличением размера зерна WC темпы повышения интенсивности изнашивания с ростом осевой нагрузки, в отличие от темпов повышения механической скорости бурения, возрастают, что приводит при больших осевых нагрузках (1500 Н) к сближению величин интенсивности изнашивания.

Сопоставив полученные значения механической скорости бурения и интенсивности изнашивания в одинаковых режимах бурения, приходим к выводу, что эффективнее будут работать буровые коронки, обеспечивающие максимальную для заданных режимов бурения механическую скорость при минимальной интенсивности их износа.

## **Исследование термомеханических характеристик сплавов на основе TiNi с различными химическим составом и структурой**

Бурнаев А.В., Шаронов Ф.А.

Научный руководитель – Коллеров М.Ю.

МАИ, г. Москва

Исследования проводили на образцах проволоки сплава на основе никелида титана двух составов:

Состав 1 (Ti-54,7 вес.% Ni по массе) близок к стехиометрическому составу интерметаллида TiNi, в результате чего при термической обработке не происходит выделения или растворения интерметаллидов типа Ti<sub>2</sub>Ni<sub>3</sub> или Ti<sub>3</sub>Ni<sub>4</sub> богатых никелем.

Состав 2 имеет избыточное содержание никеля (Ti-55,8 вес.% Ni по массе) по сравнению со стехиометрическим составом. Поэтому при высоких температурах (свыше 550°C) из-за увеличения растворимости никеля в B2-фазе будет происходить растворение, а при более низких температурах – выделение богатых никелем интерметаллидов.

Образцы подвергали различным видам термической обработки. Так образцы состава 1 отжигали при температурах 450 и 550°C в течение одного часа, а образцы состава 2 предварительно отжигали в вакууме при 700°C в течение часа, а затем старили при 450 или 520°C в течение 1 часа. Режимы обработки выбирали таким образом, чтобы обеспечить в образцах различный фазовый состав и структуру, а температура обратного мартенситного превращения была близкой к 40°C для более точного сравнения их термомеханического поведения. Термомеханические характеристики определяли при кручении образцов на установке обратного крутильного маятника. Образцы деформировали на различную степень с определением напряжений при различных температурах в интервале от 20 до 100°C.

Сравнение термомеханического поведения образцов из сплавов с различным химическим составом и в разном структурном состоянии проводилось по критической деформации, критическому напряжению и пределу текучести материала.

Проведённые исследования показали, что химический состав и структура образцов из сплавов на основе никелида титана оказывают существенное влияние на механизмы их деформации и термомеханическое поведение. Так высокая концентрация дефектов кристаллического строения материала, формирующаяся на стадии получения полуфабриката холодной и тёплой деформацией, приводит к формированию сверхупругости и подавлению проявления ЭПФ. Снижение концентрации дефектов в процессе полигонизационного или рекристаллизационного отжигов обеспечивают проявление эффекта памяти формы. Дисперсионное упрочнение при старении образцов из сплава с более высокой концентрацией никеля позволяет обеспечить высокий уровень напряжений начала скольжения и сохранить ЭПФ и СУ до более высоких температур испытаний. Для обеспечения требуемого уровня термомеханических характеристик изделий из сплавов на основе никелида титана необходимо осуществлять соответствующий выбор

химического состава материала и оптимизировать технологию обработки полуфабриката и готового изделия.

При анализе способности сплавов на основе никелида титана проявлять свойства ЭПФ и СУ в заданном интервале температур следует учитывать уровень критических напряжений, по достижении которых в матрице сплава интенсивно развиваются процессы скольжения. Эта характеристика в сочетании с уровнем напряжений мартенситного сдвига определяет температурную зависимость критических деформаций, ограничивающих возможность сплава полностью восстанавливать наведенную деформацию после устранения внешних напряжений и последующем нагреве.

### **Оценка химического состава титановых сплавов с оптимальным комплексом механических свойств в отожженном состоянии**

Чибисова Е.В., Шмырова А.В.

Научные руководители – Егорова Ю.Б.

МАИ, Ступинский филиал, ОАО «НПП «Аэросила», г. Ступино

В работе были проанализированы статистические зависимости предела прочности и относительного удлинения прутков (диаметром 8-65 мм) изтитановых сплавов  $\alpha$ -, псевдо  $\alpha$ -,  $\alpha+\beta$ -, псевдо  $\beta$ -,  $\beta$ -классов от числа легирующих элементов и химического состава, выраженного через эквиваленты по алюминию и молибдену. Статистический анализ проводили с помощью ППП «Stadia». Были сформированы два массива литературных данных. Для первого массива были использованы эквиваленты по алюминию и молибдену, рассчитанные по среднему химическому составу 111 отечественных и зарубежных промышленных сплавов, и типичные механические свойства прутков диаметром 10-14 мм. Эквивалент по алюминию  $[Al]_{экв}^{сп}$  изменялся от 0,8 до 9%, по молибдену  $[Mo]_{экв}^{сп}$  – от 0 до 33%, число легирующих элементов  $n_{л.э.}$  от 0 до 8. Предел прочности прутков (после полного отжига) лежал в интервале 340-1250 МПа, относительное удлинение 8,0-37,0 %. Для второго массива были обобщены только те литературные данные, в которых был указан конкретный состав сплава, диаметр прутков (12-65 мм), конкретные режимы отжига и механические свойства. Всего было исследовано 113 композиции химического состава отечественных промышленных и модельных сплавов. Для исследованных сплавов структурный эквивалент по алюминию изменяется от 1,5 до 12%, по молибдену – от 0 до 24%, число легирующих элементов  $n_{л.э.}$  от 0 до 8. Предел прочности прутков из исследованных сплавов (после полного отжига) лежал в интервале 385-1520 МПа, относительное удлинение – 3,0-44,0 %. Для оценки оптимального сочетания механических свойств был использован комплексный показатель  $\sigma_v \cdot \delta$ , который изменялся от 4500 до 22000 МПа·%. Результаты, полученные для двух массивов, имеют близкие статистические характеристики, поэтому они были объединены в одну статистическую совокупность.

Анализ корреляционных зависимостей механических свойств от диаметра прутков показал, что увеличение диаметра прутка с 8,0 до 65,0 мм статистически не влияет на уровень механических свойств сплавов, так как

коэффициенты корреляции близки к нулю. С повышением  $[Al]_{экс}^{emp}$  с 1,5 до 12% предел прочности прутков линейно повышается, а пластические свойства снижаются. В зависимости  $[Mo]_{экс}^{emp}$  предел прочности сначала повышается, достигает максимума при  $[Mo]_{экс}^{emp} = 8-12\%$ , затем уменьшается. Увеличение количества легирующих компонентов на 1 элемент (без учета влияния структурных эквивалентов) приводит к повышению прочности в среднем на 70-80 МПа. Наиболее сильное снижение относительного удлинения наблюдается для сплавов с 5 легирующими элементами. Сплавы с 6-8 компонентами имеют приблизительно одинаковую пластичность (~8-10%) и наиболее высокие прочностные свойства (~1100-1200 МПа). На основе проведенного анализа были построены диаграммы в координатах « $\sigma_b \cdot \delta - [Mo]_{экс}^{emp}$ » при разных значениях  $n_{л.э.}$  и  $[Al]_{экс}^{emp}$ . Максимальные значения показателя  $\sigma_b \cdot \delta$  наблюдаются для сплавов переходного класса и псевдо  $\beta$ -сплавов с  $[Mo]_{экс}^{emp} = 9-18\%$ ,  $[Al]_{экс}^{emp} = 1-5\%$ ,  $n_{л.э.} = 3-5$ . Увеличение содержания  $\alpha$ -стабилизаторов и нейтральных упрочнителей до  $[Al]_{экс}^{emp} > 6\%$  приводит к повышению предела прочности и снижению пластических характеристик, что в целом сопровождается уменьшением показателя  $\sigma_b \cdot \delta$ .

### **Исследование изменения состава, свойств и технологического состояния отечественной и зарубежной сталей**

Муратаев А.Ф., Чубуков А.И.

Научный руководитель – Муратаев Ф.И.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

В настоящее время всё острее ощущается необходимость в высококачественных материалах медицинского оборудования. Качество инструментов в большей степени зависит от состава материала, из которого он сделан, а также технологической наследственности.

Исследованы образцы мартенситно-старяющихся сталей марок 03X12H8K5M2TЮ (ЗИ-90), 03X11H10M2T2 (ЭП-853) и шведской стали Sandvik в различных технологических состояниях в виде листа, проволоки и деталей медицинского инструмента. Учитывая, что граничные условия при определении твердости проволоки по Роквеллу (HRC) не выполнялись, измерения твердости (микротвердости), осуществлялось методом Виккерса. Для определения коэффициентов перевода результатов измерения микротвердости HV/0,1 на приборе RemetHX-1000 в значения HRC и обоснования их адекватности, измерения диагоналей отпечатков выполняются многократно на разных микроскопах ПМТ-3, Remet HX-1000 и МЕТАМ ЛВ-32.

Для калибровки микроскопов-твердомеров и определения переводных коэффициентов значений HV/0,1 к уровню значений HRC используются образцы-эталоны. Результаты измерения твердости HRC и микротвердости HV/0,1 исследованных образцов металла приведены в таблице. Там же указаны параметры заготовок и деталей, их материалы и виды использованного оборудования измерения твердости. Как известно свойства материалов

определяются не только составом, а и технологической наследственностью. Заготовки и детали из стали 03X12H8K5M2TЮ подвергались старению при температуре 480<sup>o</sup>C, а стали 03X11H10M2T2 - при температуре 500<sup>o</sup>C. Полученные результаты измерений твердости и микротвердости позволили обосновать оптимальный режим старения при температуре 480<sup>o</sup>C.

Термическая обработка, выполненная по режиму старения при температуре 500<sup>o</sup>C, приводит к завышенным значениям твердости, хрупкому состоянию и разрушению в условиях изготовления и при эксплуатации.

### **Исследование неоднородности фазового состава, текстуры и механических свойств в 80 мм плитах сплава В-1461**

Долгова М.И., Князев М.И., Петров А.А.

Научный руководитель – Бецофен С.Я.

МАИ, г. Москва

Производство крупногабаритных плит и профилей из высокопрочных алюминиевых сплавов для современных широкофюзеляжных пассажирских и транспортных самолетов является актуальной научно-технической проблемой. Эффективность использования сплавов системы Al-Li в авиакосмической технике связано с их более низкой плотностью и более высоким модулем упругости по сравнению с остальными сплавами алюминия, а также высокими характеристиками прочности и вязкости разрушения. В этом плане значительную перспективу представляет высокопрочный, свариваемый сплав В-1461, обладающий улучшенными коррозионными характеристиками и характеристиками развития усталостных трещин по сравнению с другими сплавами этой системы легирования. Однако при получении плит толщиной 40-80 мм из этого сплава обнаружена значительная анизотропия механических свойств, которая проявляется как в различии свойств в различных направлениях полуфабрикатов, так и в заметной разнице свойств по сечению плиты. Важность этой проблемы связана еще и с тем, что в настоящее время все большее распространение получает технология получения крупногабаритных панелей с помощью фрезерной обработки, что требует обеспечения высокого уровня однородности свойств в различных зонах и направлениях полуфабриката. В настоящей работе исследовали неоднородность фазового состава, текстуры и механических свойств в различных зонах и направлениях плит толщиной 80 мм из сплава В-1461. Заготовки под плиты толщиной 80 мм из сплава В-1461 (Al-2,8Cu-1,7Li-0,5Mg-0,5Zn-0,1Zr-0,06Sc) получали поперечно-продольной (по отношению к оси слитка) прокаткой при температурах 420-470<sup>o</sup>C на «КУМЗ», затем их подвергали нагреву и выдержке 1 час при 540<sup>o</sup>C, охлаждали в воде и подвергали правке растяжением с остаточной деформацией 2-3%. С поверхности плиты фрезерованием удаляли с обеих сторон по ~5 мм и вырезали темплеты 25x100x70 мм<sup>3</sup>, которые подвергали старению по трем режимам: (1) 120<sup>o</sup>C, 20 час.; (2) 120<sup>o</sup>C, 20 час.+ 140<sup>o</sup>C, 24 час.; (3) 120<sup>o</sup>C, 20 час.+ 140<sup>o</sup>C, 24 час.+ 150<sup>o</sup>C, 24 час. От каждого из темплетов отрезали по пять пластин толщиной ~7 мм, которые позволяли исследовать распределение структурных характеристик и твердости в сечениях, отстоящих на 0,1Т, 0,2Т, 0,3Т, 0,4Т и 0,5Т, где Т - толщина плиты. Измерения твердости проводили на приборе MacroMet 5100Т с

нагрузкой 100 кгс и шкалой измерения HRB. Рентгеноструктурные исследования проводили на дифрактометре ДРОН-4. Текстуру оценивали с помощью обратных полюсных фигур (ОПФ), для чего осуществляли съемку рентгенограмм в фильтрованном  $\text{MoK}_\alpha$ -излучении в диапазоне углов  $2\theta=6-75^\circ$ , который позволял получить значения полюсной плотности для 12 независимых рефлексов на стереографическом треугольнике. Обнаружено, что прочностные характеристики максимальны в медианном сечении (пределы прочности и текучести 570 и 540 МПа), в  $0,25T$  сечении эти величины составляют 530 и 490 МПа, а в высотном направлении всего 490 и 440 МПа. Исследования текстуры показали, что в среднем слое плиты толщиной 0,3-0,35T наблюдается одинаковая для матрицы и  $\delta'$ -фазы интенсивная однокомпонентная текстура с расположением плоскости  $\{011\}$  параллельно плоскости плиты с доминированием текстуры «латуни»  $\{110\} \langle 112 \rangle$ . Показано, что величина твердости (HRB) увеличивается от 70 единиц для старения при  $120^\circ\text{C}$ , 20 час. до 85 единиц для трехступенчатого режима старения  $120^\circ\text{C}$ , 20 час. +  $140^\circ\text{C}$ , 24 час. +  $150^\circ\text{C}$ , 24 час. при этом в отличие от прочности на растяжение значения твердости не меняются по сечению плиты. Показано, что старение при 120 и  $140^\circ\text{C}$  сопровождается выделением  $Q'$ -фазы, а при  $150^\circ\text{C}$  выделением из твердого раствора медьсодержащих  $T_1$  и  $Q'$ -фаз.

### **Фазовый состав, текстура и анизотропия механических свойств алюминий-литиевых сплавов**

Долгова М.И., Князев М.И., Сперанский К.А.

Научный руководитель – Бецоффен С.Я.

МАИ, г. Москва

Рассмотрены результаты исследования формирования фазового состава и текстуры в сплавах систем Al-Cu-Li и Al-Mg-Li при деформации и термической обработке выявлены количественные закономерности влияния различных интерметаллидных фаз на механические свойства и их анизотропию. Предложена новая методика расчета количества  $T_1, S_1$  и  $\delta'$ - фаз для Al-Cu-Li и Al-Mg-Li сплавов на основании экспериментального измерения параметров решетки  $\alpha$ -твердого раствора. Показано, что в сплавах соотношение между  $\delta'$ -фазой и тройными фазами определяется атомными долями лития и магния (меди) для Al-Mg-Li (Al-Cu-Li) сплавов. С помощью этой методики показано также, что в сплавах Al-Cu-Li доля  $\delta'$ - фазы значительно выше, чем тройной  $T_1$ -фазы, а в сплавах системы Al-Mg-Li, доли  $\delta'$ - и тройной фазы ( $S_1$ ) примерно равны. Показано, что роль  $T_1$ -фазы как основного упрочнителя Al-Cu-Li сплавов явно преувеличена, в особенности для сплавов с содержанием лития  $>1,5\%$ , для которых доминирует эффект упрочнения за счет упорядоченной по типу  $\text{Li}_2$   $\delta'$ -фазы. Для таких сплавов предложен механизм упрочнения, основанный на том, что упрочнение от выделения упорядоченной  $\delta'$ - фазы пропорционально не только количеству, но и размеру частиц, что обеспечивает упрочняющий эффект при старении даже при неизменной фракции  $\delta'$ - фазы. На практике этот механизм реализуется за счет комплексной термомеханической обработки, включающей правку растяжением и низкотемпературную стадию старения, когда формируется оптимальное структурно-фазовое состояние для обеспечения

максимального эффекта упрочнения на последующей стадии старения при более высоких температурах. На этой финишной стадии старения основной эффект упрочнения достигается за счет увеличения диаметра частиц  $\delta'$ -фазы, при этом дополнительный вклад в упрочнение вносят медьсодержащие  $T_1$  и  $Q'$ -фазы. Показано, что анизотропия механических свойств сплавов с литием существенно превышает все другие алюминиевые сплавы, что объясняется наличием значительного количества (до 20%) когерентной упорядоченной  $\delta'$ -фазы с  $L1_2$  решеткой. Эта фаза обладает текстурой почти полностью совпадающей с текстурой твердого раствора, при этом механизмы деформации упорядоченной фазы и твердого раствора могут принципиально отличаться.

### **Зависимость температур восстановления формы интерметаллида TiNi от степени предварительной деформации**

Дружинин А.Н.

Научный руководитель – Маркова Г.В.

ТулГУ, г. Тула

Сплавы на основе никелида титана являются в настоящее время наиболее перспективными материалами, способными к проявлению эффектов памяти формы (ЭПФ) и сверхупругости (СУ). Помимо указанных эффектов, они также обладают редким комплексом физико-механических свойств: высокой прочностью и пластичностью, высокими демпфирующими свойствами, хорошей коррозионной стойкостью и биосовместимостью.

В данной работе исследован классический сплав с эффектом памяти формы (ЭПФ) на основе никелида титана  $Ti - 50,6 \%$  (ат.)  $Ni$  (промышленный сплав ТН1). Для исследований использовали проволоочные образцы диаметром 0,9 мм, длиной 45 мм, которые были получены теплым волочением. Образцы сплава перед испытанием подвергли отжигу в вакууме при  $t = 650 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 1 часа и провели травление в смеси кислот:  $HNF + 3HNO_3 + 6H_2O_2$  в течение 7 минут для снятия поверхностного окисленного слоя. На основе ранее проведенных измерений внутреннего трения установлено, что образец при комнатной температуре находится в однофазном мартенситном состоянии.

Для определения температур начала и конца восстановления формы при нагреве и охлаждении и использовали установку, работающую по принципу обратного крутильного маятника, разработанную на кафедре ФММ ТулПИ. Образцы подвергали деформации кручением от 1 % до 7 % с шагом в 1 % при комнатной температуре. В последующем производился нагрев образца от  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $170 \text{ }^\circ\text{C}$  со скоростью  $1 \text{ }^\circ\text{C} / \text{мин}$  и охлаждение до комнатной температуры с такой же скоростью.

По полученным экспериментальным данным рассчитывали деформацию образца и строили графики зависимостей  $\gamma(T)$ . По перегибам на кривых  $\gamma(T)$  определяли температуры мартенситного превращения:  $A_n, A_k, M_n, M_k$

Все полученные зависимости имеют однотипный характер. Например, после деформации  $\gamma_{пр} = 2 \%$  при нагреве формовосстановление начинается с  $85 \text{ }^\circ\text{C}$  и заканчивается при  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ . Наиболее интенсивное формовосстановление наблюдается в интервале от  $105$  до  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ . При дальнейшей нагреве образца от

120 до 160 °С формовосстановление прекращается. При охлаждении образца обратное формовосстановление начинается с 80°С и заканчивается при 65 °С. В дальнейшем формовосстановление не наблюдается. Изменение формы обусловлено тем, что при нагреве происходит обратное МП (ОМП) в результате которого в интервалах температур от 85 до 120 °С кристаллы мартенсита исчезают и превращаются в аустенит, а при охлаждении происходит прямое МП (ПМП) в результате которого в интервалах температур от 80 до 65 °С начинают зарождаться и растут кристаллы мартенсита.

С увеличением степени предварительной деформации наблюдается повышение температур ОМП и снижение температур ПМП. Таким образом,

рост  $\gamma_{пр}$  приводит к увеличению температурного гистерезиса мартенситного превращения. В то же время температурный интервал ПМП уменьшается, а температурный интервал ОМП практически не изменяется при снижении предварительной нагрузки.

### **Реологические свойства сплава ВТ20 при испытаниях на сжатие**

Ермаков Е.И.

Научный руководитель – Носов В.К.

МАИ, Ступинский филиал

При моделировании процессов обработки металлов давлением (ОМД) основная задача заключается в установлении соотношения между напряжениями и деформациями во времени в виде реологических условий состояния (РУС), а также связи параметров высокотемпературной деформации с фазовым и структурным состоянием. Полученные по результатам высокотемпературных испытаний на растяжение, сжатие или кручение РУС, отличающихся уровнем и характером кривых течения с известным приближением используют в качестве исходной информации при компьютерном моделировании технологических процессов ОМД с анализом энергетических параметров, распределения напряжений, деформации и возможным прогнозированием структурного состояния и структурного строения деформируемого сплава.

В качестве исходного материала использовали сплав ВТ20: (Al-6,37%; V-1,6%; Mo-1,6%; Zr-1,9). Испытания на сжатие образцов с различным соотношением  $D_0/H_0$  проводили в изотермических условиях без смазки на испытательной машине FP100 при температуре 950°С со скоростями деформации  $1 \times 10^{-2}$ ;  $2 \times 10^{-2}$ ;  $5 \cdot 10^{-3}$ ;  $6,6 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ , а также с постоянной скоростью деформирования  $V_{\text{деф.}} = 6 \text{ мм/мин}$  (0,1 мм/с).

Для определения сравнительных характеристик полученных результатов исследований, проводили моделирование процессов сжатия с использованием лицензионного пакета программ QForm 5.1 с условием задачи характеристик и данных, максимально приближённых к реальным условиям испытаний.

По результатам высокотемпературных испытаний на сжатие образцов  $\text{Ø}15 \times 20$  мм получены экспериментальные и аппроксимированные зависимости удельного усилия сжатия от температуры, скорости и степени деформации, рассчитана энергия активации процесса деформации сжатием.

Экспериментально показано, что рост удельных усилий сжатия и усилие деформационного упрочнения с повышением начальных отношений размеров  $D_0/H_0$  при постоянном  $D_0$  обусловлено увеличением их коэффициента жесткости и удельных контактных поверхностей.

По результатам моделирования с использованием программного комплекса QForm показано, что расчётные значения условного предела текучести  $\sigma_{0,2}^p$ , полученные с использованием пластичности Губера-Мизеса удовлетворительно согласуются с экспериментальными  $\sigma_{0,2}^э$ . Кроме того получены данные о распределении средних напряжений и накопленной деформации по сечению образцов.

## **Технология имитации режущих свойств индийского булата методом холодного деформирования стали Гадфильда**

Галкин А.Ф.

Научный руководитель – Гринберг Е.М.

ТулГУ, г. Тула

Одно из удивительных свойств литого индийского булата, обуславливающее удивительную остроту клинков из него, - образование пилообразной режущей кромки на микроскопическом уровне. Современные легированные и высоколегированные стали позволяют получить качественную имитацию режущих свойств подобного булата в клинках, изготовленных из высокомарганцевой стали 110Г13 (сталь Гадфильда). Сталь Гадфильда - аустенитная сталь, склонная к сильному наклепу, что позволяет повысить ее твердость за счет ХПД в три раза - с 200 до 600 НВ. В промышленности эта сталь применяется в литом виде из-за сложности и трудоемкости ее обработки резанием.

Для экспериментальных исследований из отливки стали Гадфильда вырезали полосы толщиной 2 мм, из которых в дальнейшем получали лезвия режущего инструмента методом холоднойковки. Полученные лезвия подвергали дюрOMETрическому и металлографическому анализу, а также сравнительным испытаниям режущих свойств и износостойкости.

Как показали результаты исследований, твердость режущей поверхности после проковки достигает 48 HRC. Накатка режущей кромки способствует дальнейшему повышению твердости. Сущность процесса накатки заключается в дополнительном холодном деформировании режущей кромки. На практике осуществляется протаскиванием между наклоненными друг к другу под острым углом (~30°) твердыми призмами со скругленными углами (радиус скругления – 0,5 мм). Металлографический анализ отчетливо обнаруживает пыльчатую структуру режущей кромки, образующуюся после накатки. Подобное строение режущей кромки обуславливает значительно более высокие режущие свойства клинка и его износоустойчивость по сравнению с другими сталями, используемыми обычно для промышленного производства ножей (AISI 420, 45X13, 65X13, AISI 440A).

Предварительные оценки также показывают, что общая механическая прочность клинков из стали Гадфильда на изгиб и кручение, ударная прочность не уступают аналогичным характеристикам клинков заводского производства.

Преимущество стали Гадфильда заключается в высокой вязкости и несклонности к хрупкому излому. При критических нагрузках клинок претерпевает пластическую деформацию, но не ломается, как это часто происходит с высокоуглеродистыми промышленными ножевыми сталями (AISI 440B, AISI 440C, 95X18, 65X13, X12MФ), что технически легче исправить, чем поломку клинка. Существенным недостатком этой стали является ее высокая склонность к коррозии и высокая стоимость.

Известно, что сталь Гадфильда склонна к росту зерна при нагреве в наклепанном состоянии. Используя это свойство, можно регулировать размер зерен, тем самым изменяя размеры зубьев микропилы режущей кромки. Однако укрупнение зерна негативно влияет на ударную вязкость стали, поэтому требуется разработка особых приемов изготовления клинка. Образование пильчатой режущей кромки – устойчивое и закономерное явление.

### **Применение метода конечных элементов при расчёте конструкции на прочность**

Гаврилов С.В.

Научный руководитель – Маркова Е.В.

ТулГУ, г. Тула

Комплекс МКЭ ANSYS широко используется для проектирования изделий, к которым предъявляются повышенные эксплуатационные требования.

Комплекс позволяет проводить исследования не только характеристик динамики и прочности машиностроительных и иных конструкций, но и решать статические задачи, определять собственные колебания, исследовать поведение модели при воздействии вынужденных колебаний, задачи устойчивости, задачи расчета полей температур, динамики жидкости и газа и др.

В работе использовали два метода создания конечно элементной модели: геометрическое моделирование и прямая генерация узлов и элементов.

В случае использовании геометрического моделирования проводилось описание геометрической формы модели, после чего автоматически была создана сетка из узлов и элементов на основе геометрической модели. При этом имелась возможность определять размеры и форму элементов, создаваемых комплексом.

В случае прямой генерации непосредственно указывал и координаты каждого узла и последовательность узлов в элементах. Вследствие этого существовала возможность проведения ряда дополнительных действий.

Тип расчета выбирали в соответствии с условиями нагружения и вычисляемым откликом системы. Например, при вычислении собственных частот и формы колебаний, применяли расчет собственных колебаний.

В комплексе ANSYS выполняются следующие типы расчетов: статические процессы, переходные процессы, вынужденные колебания, собственные колебания, а также устойчивости системы.

Опции расчета позволяют проводить настройку расчета выполняемого типа. Типовыми опциями расчета являются метод проведения вычислений, учет изменения жесткости при приложении нагрузки и опции Ньютона - Рафсона.

В комплексе ANSYS нагрузки разделены на шесть основных категорий, к которым можно отнести: ограничения степеней свободы; усилия; нагрузки, приложенные на поверхности; нагрузки, приложенные в объеме; инерционные нагрузки; нагрузки связанных расчетов.

Большинство из этих нагрузок можно прикладывать как к геометрическим объектам (точкам, линиям и поверхностям), так и к объектам расчетной модели (узлам и элементам).

Освоение инструментов компьютерного инженерного моделирования, к которым относится программа ANSYS, позволяет с большой экономической выгодой выполнять научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, исключая проведение натуральных испытаний, которые не всегда оправдывают вложенные затраты. Компьютерное моделирование играет важнейшую роль в современных условиях рыночной экономики, уменьшая себестоимость и время разработки нового.

### **Влияние термической обработки на механические свойства титанового сплава ВСТ2К**

Герман М.А., Ручина Н.В.

Научный руководитель – Скворцова С.В.

МАИ, г. Москва

В работе было исследовано влияние структуры, созданной путем применения различных режимов термической обработки, на механические свойства двухфазного титанового сплава ВСТ2К. Сплав ВСТ2К является аналогом ВТ6, разработанным в ВМСПО-Ависма, как «экономно легированный» сплав, получаемый с использованием вторичного сырья.

Исследования проводились на трех составах титанового сплава ВСТ2К с разным содержанием  $\beta$ -стабилизаторов (Состав 1:  $[\text{Mo}]_{\text{экв}} = 4,3$ ; Состав 2:  $[\text{Mo}]_{\text{экв}} = 5,6$ ; Состав 3:  $[\text{Mo}]_{\text{экв}} = 7,4$ ).

Цель работы заключалась в разработке режимов термической обработки, обеспечивающей в сплаве ВСТ2К разного химического состава примерно одинаковый уровень свойств.

Для определения температуры отжига было исследовано влияние температуры нагрева на количественное соотношение  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз в структуре. На основании проведенных исследований были разработаны режимы, позволившие сформировать структуру с примерно одинаковой морфологией первичной  $\alpha$ -фазы, обеспечивающей близкие значения твердости.

Структура, сформированная в результате разработанных режимов термической обработки представлена частицами первичной  $\alpha$ -фазы, по форме близким к глобулярной, сохранившимися в структуре при температуре нагрева. Объемная доля частиц первичной  $\alpha$ -фазы во всех трех плавках лежала в пределах 45-60%.

Результаты исследования механических свойств образцов трех составов после отжига показали, что они имеют один уровень прочности ( $\sigma_{\text{в}} = 1000 - 1010$  МПа) и пластичности ( $\delta = 15 - 18\%$ ;  $\psi = 35 - 38\%$ ). Значения ударной вязкости в пределах от 0,49 до 0,51 МДж/м<sup>2</sup>. Твердость после отжига составила 35 ед. НRC

на образцах из плавки первого и второго состава и 36 ед. HRC для образцов третьей плавки.

На следующем этапе были разработаны режимы упрочняющей термической обработки, позволяющие получить более высокие прочностные характеристики.

Разработанные режимы упрочняющей термической обработки позволили сформировать структуру, характеризующуюся небольшим количеством первичной  $\alpha$ -фазы и мелкодисперсными частицами вторичной  $\alpha$ -фазы на фоне  $\beta$ -матрицы.

После упрочняющей термической обработки уровень прочности для Состава 1 повысился до 1160 МПа. Значения относительного удлинения и сужения для двух составов составили:  $\delta = 7 - 13 \%$ ,  $\psi = 25 - 34 \%$ , а ударная вязкость лежала в пределах  $0,27 - 0,34$  МДж/м<sup>2</sup>. Твердость составила 39 и 40 ед. HRC соответственно. При этом на Составе 3 предел прочности достиг значения 1360 МПа.

Таким образом, установлено, что сплав Состава 3 после упрочняющей термической обработки обладает большим запасом прочности и меньшими пластическими характеристиками по сравнению со сплавом Состава 1. Повидимому, это связано с большей степенью легированности его  $\beta$ -стабилизаторами.

### **Влияние структуры на термосиловые параметры титанового сплава ВСТ2К**

Герман М.А., Шалин А.В.

Научный руководитель – Скворцова С.В.

МАИ, г. Москва

В работе было исследовано влияние структуры, созданной путем применения различных режимов термической обработки, на термосиловые параметры резания двухфазного титанового сплава ВСТ2К. Сплав ВСТ2К является аналогом ВТ6, разработанным в ВМСПО-Ависма, как «экономно легированный» сплав, получаемый с использованием вторичного сырья.

Исследования проводились на двух составах титанового сплава ВСТ2К с разным содержанием  $\beta$ -стабилизаторов (Состав 1: [Mo]экв = 4,3; Состав 2: [Mo]экв = 7,4). На первом этапе для двух составов были разработаны режимы термической обработки, обеспечивающие примерно одинаковое структурное состояние и уровень твердости.

В результате отжига в обоих составах была сформирована однотипная структура, представленная частицами первичной  $\alpha$ -фазы, по форме близкими к глобулярным, с «прослойками»  $\beta$ -фазы между ними. Объемная доля частиц первичной  $\alpha$ -фазы лежала в пределах 45-60%, а твердость составила 35-36 ед. HRC.

В результате исследования влияния химического состава на термосиловые параметры резания установлено, что увеличение количества  $\beta$ -стабилизаторов фактически не влияет на усилия резания, но приводит к некоторому повышению температуры в зоне резания.

На следующем этапе были разработаны режимы термической обработки, обеспечивающие различное количество первичной  $\alpha$ -фазы в структуре сплава Состава 2 и разный уровень твердости: 32, 36 и 42 ед. HRC.

Термическая обработка, обеспечивающая твердость 32 ед. HRC, привела к формированию структуры, характеризующийся крупными глобулярными частицами  $\alpha$ -фазы. Между частицами первичной  $\alpha$ -фазы присутствуют «прослойки»  $\beta$ -фазы. После термической обработки, обеспечивающей твердость 33 ед. HRC, размер частиц первичной  $\alpha$ -фазы был меньше, чем после отжига по первому режиму. Режим термической обработки, позволивший повысить твердость до 36 ед. HRC, обеспечил еще большее измельчение частиц первичной  $\alpha$ -фазы. Структура, обеспечивающая твердость 42 ед. HRC, характеризовалась небольшим количеством первичной  $\alpha$ -фазы и мелкодисперсными частицами вторичной  $\alpha$ -фазы в  $\beta$ -матрице.

Исследования термосиловых параметров при фрезеровании в режиме полустойковой обработки Состава 2 сплава ВСТ2К с различной структурой и твердостью показали, что с увеличением твердости от 32 до 36 единиц HRC наблюдается снижение как усилия резания, так и температуры в зоне резания. Увеличение твердости приводит к увеличению как температуры в зоне фрезерования, так и усилия резания.

Таким образом, установлено, что обрабатывать резанием сплава ВСТ2К целесообразно после термической обработки, обеспечивающей формирование структуры с твердостью 35-36 ед. HRC.

### **Влияние РЗМ на структуру листовых полуфабрикатов жаропрочного титанового сплава**

Грушин И.А., Кабанова Ю.А., Чернышова А.А.

Научный руководитель – Скворцова С.В.

МАИ, г. Москва

В работе исследовано влияние добавки гадолиния на формирование структуры и фазового состава жаропрочного титанового сплава ВТ18У. Исследования проводили на образцах, вырезанных из листовых полуфабрикатов сплавов ВТ18У и ВТ18У+0,2%Ga после термической обработки.

Исследования проводились с применением просвечивающего электронного микроскопа JEM 200CX фирмы JEOL при ускоряющем напряжении 160кВ с разрешением 5Å. Для выявления структуры использовались дифракционные методы получения изображений в режиме темного и светлого поля. Определение кристаллографической ориентации участков структуры проводилось при совместном анализе микроизображений и дифракционных картин. Образцы готовились методом электролитического утонения (струйная полировка) в кислотном-спиртовом электролите.

Проведенные исследования показали, что введение 0,2% гадолиния не оказывает существенного влияния на структуру жаропрочного сплава ВТ18У. После отжига при 950°C в течении 1 часа и охлаждении на воздухе микроструктура сплавов представлена равноосными зернами  $\alpha$ -фазы, которые формируются в процессе изотермической выдержки в результате протекания процессов рекристаллизации и глобуляризации в деформированных листовых

полуфабрикатах. Кроме того, в структуре присутствуют участки с  $\alpha$ -фазой пластинчатой морфологии, выделение которой происходит из  $\beta$ -фазы в процессе охлаждения до комнатной температуры после высокотемпературной обработки. Помимо  $\alpha$ -фазы различной морфологии в структуре присутствует небольшое количество  $\beta$ -фазы, расположенной по границам  $\alpha$ -пластин. Темнопольная фотография, полученная в рефлексе  $\beta$ -фазы свидетельствует о фрагментированной ее структуре.

На следующем этапе работы был проведен анализ структуры после высокотемпературной обработки и 100 часовой выдержки при 700°C для имитации работы сплавов при повышенных температурах. Появление на микродифракционных картинах очень слабых размытых сверхструктурных максимумов свидетельствует о протекании начальных этапов процесса упорядочения в отдельных микрообъемах  $\alpha$ -фазы. Темнопольным методом выявить частицы  $\alpha_2$ -фазы не удалось. Сравнительный анализ структуры, полученной на образцах, вырезанных из сплавов ВТ18У и ВТ18У+0,2%Ga также не выявил принципиальных различий в структуре после изотермической выдержки при 700°C в течении 100 часов. В процессе изотермической выдержки происходит образование  $\alpha_2$ -фазы, о чем свидетельствует присутствие на дифракционных картинах сверхструктурных рефлексов. Частицы  $\alpha_2$ -фазы неравномерно распределены внутри глобулей и пластин  $\alpha$ -фазы – вблизи границ наблюдаются области протяженностью до 200 нм свободные от выделений. Это обусловлено тем, что при охлаждении на воздухе после отжига при 950°C полностью не успевают протекать все выравнивающие диффузионные процессы.

### **Совершенствование методики расчёта анизотропии физико-механических свойств из обратных полюсных фигур**

Грушин И.А., Мусаев С.Д., Сперанский К.А.

Научный руководитель – Бецофен С.Я.

МАИ, г. Москва

Для обеспечения количественных данных о текстуре материала наиболее эффективно использовать обратные полюсные фигуры (ОПФ), которые имеют целый ряд преимуществ по сравнению с прямыми полюсными фигурами (ППФ) – они позволяют непосредственно вычислять анизотропию свойств, использовать миниатюрные образцы и в принципе допускают неразрушающий контроль на массивных изделиях. Наиболее существенным недостатком ОПФ является ограничение количества экспериментальных рефлексов, в особенности это относится к металлам и сплавам с кубической решеткой. Проведена оценка точности определения анизотропии модуля Юнга и коэффициента Керна ( $f$ -параметр), а также интегральной площади ОПФ( $S$ ) в зависимости от дискретности экспериментальных точек на ОПФ, которую мы определили в виде углового интервала  $\Delta x$ , который разделяет соседние точки на ОПФ, начиная с 90° и заканчивая 0,5°. Значения модуля Юнга и  $f$ -параметра определяли для материала с аксиальной текстурой, характеризующейся высокой интенсивностью базисной текстуры, которая изменяется от 10единиц для направления оси текстуры, совпадающей с осью «с» ГПУ решетки до 0,2 для

призматических направлений, лежащих в плоскости базиса. Показано, что угловой интервал  $\Delta\chi=2^\circ$  является критическим, после которого дальнейшее его уменьшение не дает ощутимого эффекта (ошибка  $<0,01\%$ ). Интересно, что именно такой интервал используют на сетках Вульфа в пособиях по кристаллографии. Полученный результат дает возможность оценить погрешность при оценке анизотропии свойств на основании текстурных данных из ОПФ, а также позволяет упростить расчетные процедуры и программные продукты для вычисления текстурных параметров и анизотропии свойств. Показано, что для углового интервала между экспериментальными точками на ОПФ меньше  $5^\circ$  точность определения обусловленных текстурой характеристик удовлетворительная. Поэтому очень важно максимально увеличить количество измеряемых рефлексов на ОПФ, что было нами реализовано для ГПУ, ОЦК и ГЦК сплавов. Для ГПУ сплавов принята процедура использования 17 рефлексов, а для ОЦК фазы всего 6 рефлексов. Эти 17 рефлексов соответствуют количеству независимых отражений в медном излучении для титана, однако для магния и циркония это количество можно увеличить до 20 добавив туда рефлексы (205), (106) и (214), если использовать медное излучение, а также (013), (215), (116), если проводить съемку в молибденовом излучении. Для металлов с кубической решеткой получить информативные ОПФ можно только с использованием молибденового излучения. Однако при этом возникает проблема «кратных» рефлексов, т.е. отражений от различных плоскостей решетки, имеющих одинаковые межплоскостные расстояния и, следовательно, одинаковые углы дифракции. Для ГПУ сплавов имеет место сходная проблема, когда отражения от разных плоскостей имеют, если не совпадающие как для кубической решетки, но очень близкие углы дифракции, которые практически не разрешаются на рентгенограмме. До сих пор эти рефлексы не использовались для построения ОПФ. Однако нам удалось решить эту проблему и увеличить количество используемых рефлексов и соответственно информативность ОПФ. Мы предложили следующий простой способ. Во многих случаях один из парных рефлексов является вторым или третьим порядком отражения от одной и той же плоскости решетки и для них известны величины полюсных плотностей, что позволяет отделить долю интегральной интенсивности такого рефлекса и оценить полюсную плотность второго рефлекса из пары.

### **Анализ методов получения диффузионных покрытий, применяемых для получения особых свойств поверхности металлов**

Исаенкова Ю.А.

Научный руководитель – Силуянова М.В.

МАИ, г. Москва

Защитные и износостойкие покрытия обеспечивают возможность создания новых изделий-композиций, сочетающих как высокую долговечность (износостойкость, специальные свойства) так и достаточную надежность (трещиностойкость); повышают эксплуатационную стойкость деталей машин и инструментов по сравнению со стойкостью, достигаемой известными способами термической обработки: позволяют восстанавливать изношенную поверхность и снижают потребности в запасных частях. С помощью покрытий получают

особые свойства рабочей поверхности (жаростойкость, теплопроводность, заданный коэффициент трения); они дают экономию дефицитных и дорогостоящих металлов использующихся для объемного легирования.

Роль покрытий в увеличении конструкционной прочности обеспечивает создание композиционного изделия с резко различающимися свойствами сердцевины (объема) и поверхности (покрытия). При таком подходе объем упрочняется одними дислокационными механизмами (размельчением фаз, созданием устойчивых субзернистых дислокационных упрочнений), а рабочая поверхность – другими (увеличением числа дислокаций, выделением избыточных фаз, концентрированных твердых растворов). Исходя из этого, нанесение покрытия на упрочненную основу детали или конструкции предполагает значительное увеличение твердости, износостойкости, жаростойкости, антикоррозийности и др., и для получения хорошего результата, обе проблемы повышения надежности и долговечности (объемное и поверхностное упрочнение) должны решаться комплексно.

Диффузионные алюминидные покрытия остаются основным классом покрытий, применяемых для защиты внешней трактовой поверхности лопаток турбин из жаропрочных сплавов от высокотемпературного окисления. Высокие защитные свойства этих покрытий определяются свойствами моноалюмида никеля NiAl ( $\beta$ -фаза) – основы внешнего слоя покрытия. Легирование этого слоя элементами, повышающими его жаропрочность, прочность и термостабильность при высоких температурах (1050-1100 °С), позволяет существенно повысить долговечность защитного диффузионного покрытия, используемого для лопаток турбин. В ФГУП «ВИАМ» разработан новый метод получения легированных диффузионных алюминидных покрытий (ЛДАП) на жаропрочных сплавах, основанный на вакуумной плазменной технологии высоких энергий. Этот способ нанесения покрытий по сравнению с традиционными методами алитирования – порошковым, шликерным и газовым циркулярным имеет ряд преимуществ: 1 – высокая точность формирования покрытия по толщине, элементному и фазовому составам, а также по интегральному содержанию в покрытии алюминия и других элементов, легирующих покрытие; 2 – возможность управления в широких пределах содержанием алюминия и легирующих элементов в покрытии, что недостижимо в получении диффузионных покрытий известными способами.

В настоящее время накоплен значительный объем исследований по вопросам теории, технологии получения и свойств покрытий. Высокая плотность и прочная связь с основным металлом обуславливают широкое применение диффузионных покрытий. Положительный эффект зависит от правильного выбора типа покрытия и способа его нанесения. Покрытие должно выбираться применительно к конкретным условиям эксплуатации: среды, температуры, напряженного состояния, длительности эксплуатации и т.д. Они требуют разработки новых способов получения покрытий, позволяющих расширить номенклатуру покрытий и управлять при диффузионном насыщении составом и структурой покрытия. При диффузионном насыщении в среде жидкометаллических растворов можно получать равномерные по толщине покрытия на внутренних поверхностях изделий сложной формы. Этот способ перспективен при получении покрытий на тугоплавких металлах и сплавах, и

при насыщении тугоплавкими металлами конструкционных сталей и сплавов на основе хрома и никеля. Он является удобным для диффузионного насыщения драгоценными металлами (серебром, золотом, платиной и др.). При этом способ позволяет управлять фазовым составом и структурой покрытия.

### **Перспективы использования алмазосодержащих композиционных материалов**

Касымова Е.А., Лим Е.В., Самойленко В.В.

Научный руководитель – Ягудин Т.Г.

МАИ, г. Москва

Как свидетельствует отечественный и зарубежный опыт, композиционные материалы с металлической матрицей, упрочненной тугоплавкими высокомодульными высокопрочными частицами, перспективны для применения в различных отраслях, в том числе при бурении скважин. При соответствующем составе матричных сплавов и определенной объемной доле армирования дисперсные частицы стабилизируют структуру композиционных материалов, тем самым косвенно обеспечивая повышение прочности и износостойкости. Получение и использование механически легированных порошков в настоящее время осуществляется весьма активно в различных областях порошковой металлургии. При обработке порошковых смесей по режимам, обеспечивающим механическое легирование, должна достигаться более высокая равномерность распределения легирующих элементов, т.к. сегрегация полностью подавляется.

Таким образом, открываются перспективы получения более мелкозернистой и равномерной по объему структуры, чем при традиционных способах формирования связок. В связи с тем, что задача полной гомогенизации сплава не ставилась, исходя из соображений производственной целесообразности время смешения варьировали от 2 до 5 часов. Полученные таким образом порошки и исходные смеси далее были подвергнуты дифференциальному термическому анализу с целью выяснения особенностей протекания физико-химических превращений, а также в сопоставительном режиме были изучены некоторые технологические свойства порошков.

На основании данных дифференциального термического анализа можно сделать вывод о том, что механическое легирование в течение 5 часов порошковой смеси медь-олово приводит к практически полному связыванию элементарного олова. Кроме того, проверялось влияние режимов обработки исходных порошковых смесей на их свойства. Наиболее существенные изменения, свидетельствующие о принципиальных изменениях в системе в результате обработки, произошли в прессуемости порошков.

Для анализа полученных данных в рамках теории прессования Бальшина были построены графические зависимости относительного объема ( $\beta$ ) от давления прессования ( $P$ ) в логарифмических координатах. Процесс уплотнения исходных смесей хорошо описывается уравнением Бальшина – экспериментальные точки практически во всем диапазоне давлений укладываются на прямую линию. Напротив, для всех зависимостей, полученных на механически легированных порошках, характерно отклонение от прямолинейной зависимости выпуклостью графика вверх.

Таким образом, методом ДТА и исследованиями прессуемости доказано, что обработка исходных заводских смесей по выбранным режимам приводит к механическому легированию в системе медь – олово и целесообразны дальнейшие исследования по созданию на основе полученных порошков алмазосодержащих композиционных материалов.

### **Влияние нагрузки на значения микротвердости отожженной меди**

Каукина А.И.

Научный руководитель – Сержантова Г.В.

ТулГУ, г. Тула

Анализ научных работ Парамонова А.М., Ковалья А.В., Григоровича В.К. показал, что при измерении микротвердости одного и того же материала при малых нагрузках на индентор наблюдаются различные значения.

Из научных работ известно, что следует придерживаться определенной скорости нагружения и выдержки под нагрузкой. Быстрое нагружение снижает значение микротвердости, т. к. деформация образцов при этом происходит не только вследствие статистического действия груза, но и за счет динамического действия. При длительной выдержке под нагрузкой из-за сотрясений и вибраций, которые возможны в помещении результаты измерения также искажаются. Литературные данные свидетельствуют, что природа зависимости микротвердости от величины нагрузки еще не достаточно ясна.

Для определения наиболее устойчивого значения микротвердости и оптимальных усилий индентирования для пластичных материалов были проведены измерения длин диагонали на отожженной меди М06 при различных нагрузках на индентор. Диагонали отпечатков измеряли как можно точнее. Для этого следили, чтобы поверхность шлифа была строго параллельной предметному столику и её изображение в поле зрения микроскопа - контрастным.

В ходе статистической обработки полученных данных с использованием программы StatGraph 5.1 были определены средние размеры диагоналей при конкретных нагрузках и рассчитаны значения микротвердости. Используя полученные данные, были построены графики зависимости HV(P) для меди.

Получено, что в меди наблюдается две области изменения микротвердости: при малых нагрузках ( $P < 0,5$ ) микротвердость интенсивно возрастает, однако при повышении нагрузки это интенсивность этого увеличения заметно снижается.

В ряде работ Новикова И.И. отмечалось, что при малых нагрузках (0,05...0,3 Н) наблюдается отклонения от равенства чисел микротвердости, которые объясняются в основном большими погрешностями измерений. Полученные в данных исследованиях результаты свидетельствуют о нежелательности проведения измерения микротвердости при нагрузках менее 0,3 Н, из-за большой погрешности измерений. Согласно полученным результатам, микротвердость меди при нагрузке более 1,5 Н практически не изменяется.

Для проверки этих данных было проведено измерение твердости по Виккерсу при нагрузке 49 Н, которая составила 55 HV, что соответствует данным при измерении микротвердости от 1,5 Н.

Данные результаты показывают, что для мягких металлов и сплавов желательнее проводить измерения микротвердости при нагрузках превышающих 1,5Н.

Результаты исследований подтверждают положение, что механические свойства материалов чувствительны к состоянию поверхностных слоев, что может существенно сказаться на такой характеристике металла, как его микротвердость.

## **Распределение температур и структура зоны термического влияния листов из стали марки 65Г после лазерной резки**

Комарова М.Ю.

Научный руководитель – Тихонова И.В.

ТулГУ, г. Тула

Лазерная резка (ЛР) является одним из наиболее современных и эффективных методов раскроя тонко- и среднелистового материала. Основные направления развития лазерной резки – это повышение ее эффективности и достижение высоких показателей качества реза – отсутствие грата, низкой шероховатости реза, получение прямых стенок реза и малой зоны термического влияния (ЗТВ).

Целью настоящей работы явилось исследование влияния и оптимизация режимов лазерной резки на показатели качества поверхности листов из стали марки 65Г, а также апробация использования комплексных критериев качества при выборе наилучшего режима лазерной резки.

Выполнено комплексное исследование влияния параметров лазерной резки (ЛР) на показатели качества поверхности реза листов толщиной 6 мм из стали марки 65Г. Мощность излучения ( $W$ ) варьировали в диапазоне 890...1090 Вт; скорость резки ( $V$ ) – 1000...1400 мм/мин; давление вспомогательного газа ( $P$ ) = 0,01 МПа; фокусное расстояние ( $F$ ) – 288,5...300,5 мм (-1,5; +0,5). Качество поверхности реза характеризовали отсутствием грата, шероховатостью ( $R_z$ ), протяженностью зоны термического влияния ( $L$ ) и перпендикулярностью поверхности реза ( $\alpha$ ).

Макрофрактографическим анализом установлено отсутствие грата на поверхности реза листов из стали марки 65Г после ЛР по всем изученным режимам. Обнаружено наличие двух зон на поверхности реза, образование которых обусловлено непосредственно лазерным воздействием, а также плавлением за счет экзотермического эффекта взаимодействия вспомогательного газа (кислорода) с компонентом материала. На всех исследуемых образцах с увеличением скорости резки и мощности излучения ширина зоны плавления металла увеличивается, а ширина зоны удаления расплава газом уменьшается.

Изучено распределение микротвердости от поверхности реза вглубь образцов после лазерной резки по различным режимам. Характер изменения микротвердости у всех образцов аналогичен, самые высокие значения определены около поверхности реза  $\sim 800$  НВ, затем НВ снижается до достижения значения, характерного для исходного состояния.

Вблизи поверхности образцов после ЛР присутствует слой, который состоит из крупноиглочатого мартенсита и повышенного количества аустенита

остаточного. Далее расположена зона основного металла, имеющая типичную для стали марки 65Г в равновесном состоянии структуру, состоящую преимущественно из перлита и сетки феррита по границам перлитных зерен. Изучена возможность упрочнения зоны термического влияния после ЛР листов из стали марки 65Г в результате закалки от температуры нагрева 850 °С. Такая обработка позволяет избавиться от повышенного количества остаточного аустенита, получаемого в листах после ЛР.

Разработаны математические модели, описывающие влияние параметров ЛР на  $R_z$ ,  $L$  и  $\alpha$ . Полученные данные свидетельствуют о том, что для стали 65Г увеличение  $V$  повышает  $L$ , но понижает  $R_z$  и  $\alpha$ ; увеличение  $W$  повышает  $R_z$  и  $\alpha$ , и незначительно увеличивает  $L$ .

Многочисленная оптимизация с использованием компромиссной целевой функции позволила установить оптимальный режим, при котором наблюдается наиболее благоприятное сочетание всех анализируемых показателей качества реза: для стали 65Г –  $V = 1180$  мм/мин,  $W = 910$  Вт.

### **Применение механической тепловой правки для исправления коробления сварных соединений новой аустенитной коррозионностойкой стали**

Костина В.С., Мурадян С.О.

Научный руководитель – Костина М.В.

ИМЕТ РАН им.Байкова, г. Москва

При сварке сложнолегированных сталей, из-за остаточных деформаций и внутренних напряжений, может происходить изменение формы и размеров сварных узлов. В этих случаях необходима разработка способов их исправления. Для этого возможно использование механической и термической правки деформированных сварных соединений (СС). Цель представленной работы: определение для СС из новой аустенитной стали 04X20H6Г11М2АФБ (~0,4%N по массе) оптимальной температуры механической тепловой правки (МТП), на основе изучения механических свойств и микроструктуры после правки при различных температурах.

СС были изготовлены из 10 мм горячекатаного, термически обработанного листового проката указанной стали с применением сварочной проволоки Св-10Х20Н18М3АФС (0,2-0,25%N). Режим сварки: ручная дуговая сварка, электродами марки ЭА-868/20; сила сварочного тока  $I_{св} = 140-160$  А; напряжение дуги  $U_{д} = 24 \div 28$ В. Вырезанные участки СС подвергали ручной МТП при температурах 200, 300, 400, 500 и 600°С.

Исследование микроструктуры показало, что основной металл (ОМ) в составе СС имеет структуру аустенита с большим количеством двойников; размер зерен 150 – 300 мкм, разнотерности не наблюдается. Крупные неметаллические включения в ОМ не обнаружены. СШ имеет характерную литую структуру. На линии сплавления (ЛС) литые зерна размером ~20 мкм состоят из мелких дендритов (~4 мкм). Микроструктура ОМ в зоне термического влияния сварного шва во всех сварных образцах до и после МТП при различных температурах похожа, каких-либо существенных различий с ОМ, не подвергнутым сварке и МТП не наблюдали. Изучение микроструктуры образцов СС не подвергавшихся

МТП и после МТП с применением правки при наиболее высокой температуре 600°C методом скан-микроскопии не показало значительных различий. СШ имеет характерную литую структуру.

Испытания механических свойств показали, что после МТП при 200°C сталь в СС имеет повышенный, по сравнению с ОМ, предел текучести и более низкую пластичность, очевидно, вследствие низкой температуры отпуска, не снимающей наклеп, обусловленный МТП. После МТП при 300-600°C характеристики прочности и пластичности находятся в одном диапазоне, однако ударная вязкость металла СС после МТП при 300 и 400°C низкая. Измерения микротвёрдости в различных зонах СС и до, и после МТП показали, что во всех случаях металл СШ имеет минимальную микротвёрдость в СС ( $HV_{50}=272-292$ ). Это связано с меньшей концентрацией азота в сварочной проволоке. Соответственно, ОМ имеет несколько более высокую микротвёрдость (277-296), чем металл СШ. Наиболее высокая микротвёрдость присуща металлу в зоне ЛС (311-360), что может быть связано с её мелкодисперсной структурой. Проведение МТП при 200, 300, 400 и 500°C существенно повысило значения микротвёрдости в ЛС. После правки при 600°C влияние налёпа практически полностью устраняется, микротвёрдость всех зон сварного соединения близка к таковой в СС, не подвергнутом МТП.

Таким образом, сварное соединение с правкой при 600°C по итогам исследования охарактеризовалось как сходное по структуре с образцом без механической правки.

### **Технологические свойства металла при изготовлении глубоких отверстий в деталях**

Колотий Д.Д., Крохичева П.А., Степынин С.С.

Научный руководитель – Ягудин Т.Г.

МАИ, г. Москва

Проблема улучшения обрабатываемости металлов при изготовлении глубоких отверстий имеет решающее значение как для обеспечения их качества, так и для повышения производительности, поскольку обрабатываемость металлов и определяет силу и скорость резания или деформацию, качество обработанной поверхности, вид образующей стружки и др.

При выбранных условиях обработки и типе инструмента соотношение наклепа и возврата свойств определяется исходной структурой обрабатываемых металлов, созданной при предварительной термической обработке ее устойчивостью, способностью претерпевать фазовые превращения непосредственно в процессе механической обработки.

Источником деформации и коробления глубоких отверстий в деталях, как правило, служат напряжения, возникающие в них в процессе всего цикла термической и механической обработки.

При этом термические напряжения, формирующиеся в процессе нагрева или охлаждения, в результате фазовых или структурных превращений в процессе изготовления заготовок зависят от предварительной термической обработки. При этом регулирование внутренних напряжений с целью снижения и

стабилизации всех видов коробления можно осуществлять варьированием прокаливаемости.

Оптимальный режим предварительной термической обработки для большинства конструкционных сталей предусматривает ускоренное охлаждение от температуры конца горячей деформации до 650-500 °С, изотермическую выдержку при 600-680 °С продолжительностью не более 3 ч. Замедленное охлаждение до температуры 400 °С и дальнейшее охлаждение на воздухе.

Для упрочнения глубоких отверстий можно использовать режимы ступенчатой и изотермической закалки в расплаве солей (55%K<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+45%NaNO<sub>2</sub>), в том числе с добавлением воды, для широкой номенклатуры деталей из легированных и среднеуглеродистых сталей.

Например, после нагрева деталей в печах с применением ступенчатой закалки можно гарантированно получать следующую поверхностную твердость, для разных сталей: 40X – 48HRC; 50XBA – 54HRC; ХВГ – 60HRC; 9ХС – 60HRC.

### **Особенности перехода на бессвинцовую технологию в поверхностном монтаже**

Кудратов Ш.Ф.

Научный руководитель – Липатов А.И.

МАИ, г. Москва

В последние несколько лет стремительно развивается процесс перехода на бессвинцовую технологию в поверхностном монтаже. Основными причинами такого перехода, наряду с экологической безопасностью, являются получение новой безопасной и перспективной технологии сборки печатных плат и более высокие эксплуатационные характеристики, что приводит к использованию новых типов припоев. Однако существует ряд причин ограничивающих их промышленное применение. Дело в том, что бессвинцовый тип припоев имеет более высокую температуру пайки, что сказывается на сложности паяльного оборудования. так как при использовании бессвинцовых припойных паст разница температур между участками плат с большей массой и меньшей должна быть минимальной, то есть приходится выдерживать более узкую границу термопрофиля. Уменьшить разницу температур возможно путем: увеличения времени предварительного нагрева; увеличения температуры предварительного нагрева, применения трапециевидного термопрофиля. Следовательно, для повышения уровня надёжности и качества выпускаемых изделий в условиях перехода к бессвинцовым технологиям необходимы оптимальные параметры температурных профилей, исходя из выбора максимальной температуры, максимальной скорости изменения температуры, времени предварительного нагрева, оплавления и охлаждения. С этой целью был проведен расчет температурного профиля для печей конвекционного оплавления припоя типа ERSA 2/14 и ERSA 2/20. Выбираем печи оплавления ERSA 2/14 и ERSA 2/20, исходя из следующих критериев:

- в электронном модуле монтируются электронные компоненты для которых потемпературы 1,8°С/секунду для ERSA 2/14 и 1,25°С/секунду для ERSA 2/20.

- в производстве используется высокопроизводительное сборочное оборудование с циклом сборки модулей с термочувствительными компонентами

(скорость изменения температуры не более 1,8°С/секунду для ERSA 2/14 и 1,25°С/секунду для ERSA 2/20.) длиной 270 мм за 47 секунд для ERSA 2/14 и 45 секунд для ERSA 2/20.

На основании полученных данных, построены оптимальные расчетные температурные профили для каждой из печей конвекционного оплавления припоя. Выбор сплав припоя осуществляется, исходя из условий работы конечного изделия, типа покрытия печатной платы и выводов компонентов, чувствительности компонентов к температуре и технологии пайки. Для электронной промышленности наиболее приемлемым припоем для замены сплава Sn67Pb37 является Sn95.5Ag3.8Cu0.7, который применим и для пайки оплавлением (т.е. пасте) и для пайки волной. Рабочая температура такого припоя составляет 175 градусов. Температурный профиль, используемый при пайки Sn62Pb36Ag2, переносится на 30° вверх по температурной шкале, при этом максимальная температура пайки составит 235°С. Проверку полученного результата расчета провели на партии экспериментальных образцов. Оценка качества паяных соединений осуществлялась методом рентгеновского контроля. Анализ полученных экспериментальных результатов показал высокое качество паянных соединений.

### **Краткий обзор методов производства порошков из жаропрочных никелевых сплавов**

Куко И.С.

Научный руководитель – Куньявская Т.М.

МАИ, г. Москва

В наше время основные тенденции развития жаропрочных никелевых сплавов заключаются в повышении жаропрочности и усложнении химического состава. В связи с этим получение из этих сплавов заготовок дисков и валов с требуемыми коэффициентом использования металла и трудоемкостью становится все более сложной задачей. Гранульная металлургия является технологией, которая позволяет обеспечить качественное и надежное изготовление изделий с высоким уровнем эксплуатационных характеристик, более высоким КИМ и меньшей трудоемкостью по сравнению с технологией деформации слитка. Наибольшее распространение получили два метода производства гранул для изготовления заготовок дисков: центробежное распыление литой заготовки и распыление струи расплава нейтральным газом.

В первом методе на оплавляемом вращающемся торце литой заготовки формируется тороидальный венец, от которого под действием центробежной силы отрываются капли металла и охлаждаются в камере установки, наполненной инертным газом. Полученные этим методом порошки имеют сферическую форму частиц, достаточно гладкую поверхность и практически не имеют пор и поверхностных дефектов. Метод позволяет получать порошки практически всех металлов и сплавов, из которых возможно изготавливать литые заготовки требуемого качества. Единственная проблема в том, что для получения порошка меньше 50 мкм требуется повышать скорость вращения свыше 20000 об/мин, что достаточно сложно в связи с конструкционной особенностью установок.

Распыление расплава струей газа применяется при изготовлении порошков, в том числе для аддитивных технологий, из сплавов на основе меди, алюминия, железа, никеля и др. Температура плавления распыляемого материала не превышает 1500°C, что обусловлено стойкостью огнеупоров и необходимой степенью перегрева для достижения требуемой вязкости расплава. Одним из недостатков метода газового распыления является наличие газовых пор в отдельных гранулах, образующихся в результате захвата газа при разбении струи расплава. Это несколько снижает технологические свойства порошка по сравнению с первым методом.

### **Получение нанопорошковых лигатур состава $\text{Cu-Si}_3\text{N}_4$ для модифицирования и армирования алюминиевых сплавов**

Куц А.В., Белянкина А.К.

Научный руководитель – Кузина А.А.

СГАУ им. акад. С.П. Королёва, г. Самара

В современном машиностроении используют детали, изготовленные из алюминия и его сплавов, которые должны обладать высокими эксплуатационными свойствами. Сохранение требуемых свойств при повышенных температурах является характерной отличительной чертой материалов, называемых высокотемпературными. Прогресс в создании материалов с очень высокими служебными свойствами связан, прежде всего, с порошковыми высокотемпературными материалами, среди которых принято выделять тугоплавкие металлы, твердые тугоплавкие соединения, керамико-металлические упрочненные дисперсными включениями и армированные волокнами материалы.

В последние годы наблюдается повышенный интерес исследователей к получению качественных слитков, отливок и лигатур. Для решения этой проблемы необходимо разрабатывать и внедрять в производство мероприятия, обеспечивающие рациональную технологию получения и применения лигатур.

Целью данной работы было исследование режимов механического смешивания и последующего компактирования порошковых смесей состава  $\text{Cu-Si}_3\text{N}_4$  для получения прессовок - лигатур, используемых для последующего ввода в алюминиевые расплавы.

Механическое смешивание исходных компонентов: медного порошка с размером частиц до 100 мкм и порошковой смеси  $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Na}_3\text{AlF}_6$  с размером частиц до 100 нм, полученной по азидной технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в СамГТУ, осуществлялось в течение 60...90 минут в планетарной мельнице «Пульверизетте-5» и шаровом смесителе. Наличие криолита ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) в порошковой композиции будет способствовать вводу керамических частиц с микро- и наноразмерностью в расплав алюминиевых сплавов, т.к.  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  является типичным флюсом для рафинирования и модифицирования этих сплавов.

Получены порошковые смеси, содержащие упрочняющие частицы карбида кремния в количестве 2,5...5%, с размером частиц 50...75 мкм. Определены технологические свойства исследуемых порошковых смесей. Так, наибольшей

насыпной массой обладает порошковая смесь состава  $\text{Cu-2,5\%Si}_3\text{N}_4 - 2,1 \text{ г/см}^3$ , полученная в результате смешивания в планетарной мельнице, а наименьшим значением насыпной массы обладает порошковая смесь состава  $\text{Cu-5\%Si}_3\text{N}_4 - 1,68 \text{ г/см}^3$ , полученная смешиванием в шаровой мельнице. Все исследуемые порошковые композиции являются не сыпучими.

Далее проводилось одноосное прессование полученных порошковых смесей на гидравлическом прессе ПСУ-50 с давлением прессования до 125 МПа. Получены прессовки – лигатуры с пористостью 30...35% диаметром 18,2 мм, высотой до 4,2 мм и массой 2,5 грамм. Определены зависимости относительной плотности  $\theta = f(P)$  и пористости  $\Pi = f(P)$  полученных лигатур.

Таким образом, рассмотренные режимы механического смешивания и последующего компактирования исследуемых порошковых смесей позволяют получать прессовки - лигатуры, состоящие из медного порошка – носителя и смеси нанопорошков модифицирующей фазы  $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Na}_3\text{AlF}_6$  при увеличенном содержании последней.

### **Влияние термоводородной обработки титановых сплавов на структуру и эксплуатационные свойства**

Маншилин В.В., Меркулов А.Л.

Научный руководитель – Щугорев Ю.Ю.

МАИ, Ступинский филиал

Высокие удельные прочностные характеристики и коррозионная стойкость титановых сплавов определяют их широкое применение в различных отраслях промышленности. Развитие современных отраслей машиностроения предъявляет все более возрастающие требования к качеству конструкционных материалов. В связи с этим одной из главных задач материаловедения является разработка новых методов упрочняющей обработки промышленных сплавов.

Проанализированы данные по эффективности применения водорода в качестве временного легирующего элемента при пластической деформации различного класса титановых сплавов. Рассмотрены вопросы взаимодействия водорода с титаном и его сплавами. Сделан анализ о температурно-концентрационных диаграммах фазового состава водородосодержащих сплавов ВТ5 и ВТ6, о механизмах благоприятного влияния легирования водорода на повышение пластичности и сопротивление деформации, обусловленное, прежде всего, стабилизацией растворенным водородом более пластичной и менее прочной  $\beta$ -фазы, изменением морфологии фаз и их химического состава. В ходе такой обработки происходит измельчение микроструктуры металлов и сплавов до размеров зерен менее 1 мкм. Формирование ультрамелкозернистой (УМЗ) микроструктуры приводит к значительному повышению прочности при комнатной температуре, и, что особенно важно для последующего изготовления изделий к повышению технологической пластичности при температурах, пониженных по сравнению со стандартными режимами обработки.

Было получено, что при рациональном выборе легирования и режимов термической обработки расширяются возможности управления процессами выделения и распада водородосодержащих фаз, а, следовательно, получения регламентированной микроструктуры титановых сплавов. За счет этого можно

существенно повысить их пластичность, снизить температуру горячей деформации на 100-200°C, не повышая деформирующие усилия. Поэтому, есть основания полагать, что применение водородной технологии может оказаться эффективным для подготовки УМЗ структуры в сплавах титана методами пластической деформации.

По результатам работы по термоводородной обработке титановых сплавов, сочетающей в различной последовательности обратимое легирование титановых сплавов с термической обработкой и пластической деформацией. Показано, что рациональный выбор схемы ТВО и режимов обработки позволяет получать в титановых сплавах субмикроструктурную структуру с регламентированной структурой и заданным уровнем технологических и эксплуатационных свойств. Сделан вывод о целесообразности применения обратимого легирования водородом в сочетании с пластической деформацией для повышения технологичности и эксплуатационных свойств титановых сплавов.

### **Влияние микролегирования редкоземельными элементами на свойства титановых сплавов**

Моргуль А.С., Шатрун Е.А., Юдаев С.В.

Научный руководитель – Грушин И.А.

МАИ, г. Москва

В настоящее время в авиастроении находят широкое применение титановые сплавы, что обуславливается рядом их преимуществ: малой плотностью, высокими механическими свойствами, хорошей коррозионной стойкостью, высокой жаропрочностью, высокой удельной прочностью. С высокими темпами развития авиастроения повышаются требования к материалам, растет потребность в новых материалах с более высокими эксплуатационными характеристиками. Одним из путей достижения данной цели является использование микродобавок редкоземельных металлов (РЗМ).

Редкоземельные элементы (РЗЭ) обладают высоким сродством к кислороду и азоту, снижающих пластичность, сопротивление коррозии, свариваемость титана и его сплавов. РЗМ в титановых сплавах образуют тугоплавкие соединения с легкоплавкими примесями, а также измельчают зерно, что повышает механические свойства.

Анализ литературных источников позволяет сделать выводы, что добавление РЗМ в титановые сплавы положительно сказывается на их характеристиках, в частности:

- Псевдо- $\alpha$ -сплав ВТ18У, легированный небольшим количеством лантана, выдерживает испытание на длительную прочность в течение более длительного времени, по сравнению со сплавом ВТ18У без добавления лантана при 600°C вследствие измельчения зерна и упрочнения границ зерен. При легировании сплава лантаном и диспрозием повышается жаропрочность.
- Псевдо- $\alpha$ -сплав ВТ38, имеющий сходную систему легирования со сплавом ВТ18У, но отличающийся добавлением в качестве микролегирующей добавки гадолиния, превосходит по своим механическим характеристикам при 500 и 600°C лучший отечественный листовой сплав ВТ20, при этом может

быть получена меньшая толщина листов, что существенно повышает весовую эффективность.

- У сплавов с мелкозернистой структурой в термически упрочненном состоянии также наблюдается повышение ряда свойств при добавлении редкоземельных элементов. Так,  $(\alpha+\beta)$ -сплав ВТ23 с добавлением РЗМ отличается более эффективным упрочнением, что связано с преобладанием процессов зарождения над процессами роста при старении. Окисляемость сплава ВТ23 с добавлением иттрия уменьшается по сравнению с ВТ23 без микродобавки РЗМ.

- Эффект повышения механических свойств при добавлении редкоземельных элементов так же присутствует у экономнолегированных титановых сплавов.

Введение даже небольшого количества редкоземельных элементов в состав титановых сплавов позволяет повысить их свойства, такие как: предел прочности, жаропрочность, коррозионную стойкость, малоцикловая усталость, однако механизм влияния РЗЭ на структуру и свойства титановых сплавов до конца не изучен и представляет непосредственный интерес для современного материаловедения.

### **Закономерности усталостной повреждаемости литых лопаток турбины и параметров микроструктуры**

Муратаев А.Ф., Чубуков А.И.

Научный руководитель – Муратаев Ф.И.  
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

В работе исследованы образцы сплава IN-738LC, вырезанные непосредственно из выходной кромки пера в пяти сечениях охлаждаемой рабочей лопатки турбины после стендовых испытаний. Наиболее повреждается металл лопаток в сечении № 1 у замка.

Для выявления закономерностей повреждения металла лопаток и состава компонентов субструктуры сплава IN-738LC используется оборудование высокой разрешающей способности (до 1 нанометра), включая аппаратные средства прецизионной ультразвуковой дефектоскопии. Исследования деградации микроструктуры лопаток проведены в ЛКТМ при каф. МСиПБ по результатам мезоструктурного анализа, выполненного на оборудовании лаборатории наномикроскопии КНИТУ-КАИ с использованием сканирующего электронного микроскопа AurigaCrossBeam с программным обеспечением SmartSem (с разрешением микроструктуры при  $50000^{\times}$ ).

Микрозондовый рентгеноспектральный анализ шлифов на базе энергодисперсионного спектрометра INCAX-Max (чувствительностью в 127 эВ) включает в себе возможность определения структурного состава образцов металла, построение спектров: матрицы и упрочняющих фаз, выявление их элементного состава.

На основе анализа базы данных о сопротивлении лопаток турбины состава и морфологии  $\gamma'$ - фазы, установлены зависимости, удовлетворяющие хорошей сходимости указанных показаний. В частности о влиянии содержания Ti, Mo,

Co, Ni, Ta, Al, W на повреждаемость охлажденных турбинных лопаток равноосной кристаллизации.

Наиболее сильное воздействие на сопротивление литейного сплава трещинообразованию и повреждению структуры рабочих лопаток турбины оказывают Ta, Mo и Co, а наличие Al, Ti и Cr в  $\gamma'$ - фазе оказывает негативное влияние. Состав промежуточных фаз положительно влияет при больших значениях Ta, Ti, Nb и W.

По данным прецизионной ультразвуковой дефектоскопии и проведенным металлографическим исследованиям для оценки поврежденности микроструктуры литейного сплава IN-738LC равноосной кристаллизации рабочих лопаток ТВД ГПА – СПМ, выраженной в мВ, могут быть рекомендованы следующие устойчивые зависимости:

- СПМ = 43,063+2,2302·Ti;
- СПМ = 60,271 - 5,83·Mo;
- СПМ = 66,277 - 1,9045·Co;
- СПМ = 13,09 + 0,6227·Ni.

и другие предлагаемые выражения, например: от количества Ta в  $\gamma'$ - фазе, СПМ = 57,061-1,6657·Ta. Зависимости поврежденности металла от количества Al, W- пригодны для сравнительной или предварительной оценки.

Трансформация формы глобулярных и кубоидных частиц упрочняющей  $\gamma'$ - фазы в неправильную по периметру (рельефную) геометрию и их дробление свидетельствует о повреждении структуры металла до уровней СОП=0,53...0,57мВ, когда могут образоваться микротрещины в металле лопатки. Увеличение количества, Cr, Ta, Mo, W и Co и уменьшение количества Ti, Ni в  $\gamma'$ - фазе сплава IN-738LC повышает сопротивление усталости литых рабочих лопаток со структурой равноосной кристаллизации.

### **Исследование влияния коррозионного воздействия и неоднородности структуры на кинетику роста усталостной трещины в материале магистрального трубопровода**

Мусаев С.Д.

Научный руководитель – Бецофен С.Я.

МАИ, г. Москва

При производстве труб большого диаметра широко используются низкоуглеродистые малолегированные стали, которые благодаря контролируемой прокатке приобретают высокий уровень механических свойств. Структурные дефекты, формирующиеся на различных стадиях технологического процесса получения трубной заготовки, оказывают существенное воздействие на процесс зарождения и роста усталостной трещины. Особую роль в поведении материала труб при эксплуатации играет коррозионное воздействие, особенно всероводород содержащих средах. Надежность газопроводных систем снижается в процессе эксплуатации, вследствие накопления внутренних и внешних повреждений, усиливающихся при одновременном воздействии на металл механических напряжений и коррозионных сред, проявляющихся на действующих объектах в виде коррозионно-механических разрушений. Наиболее опасным видом

коррозионно-механических разрушений для линейной части газопроводных систем является коррозионное растрескивание под напряжением металла, зарождающееся на внешней поверхности трубы. Существуют неоднородности металла и различного рода включения, которые приводят к повышению энергии развития усталостного разрушения и, в конечном счете, к повышению вязкости материала, что может привести к увеличению срока службы магистрального трубопровода. Таким образом, существует объективная необходимость в разработке методики исследования в лабораторных условиях механизма и природы образования усталостных трещин в трубных сталях с учетом всех действующих факторов, в условиях приближенных к эксплуатационным. В настоящей работе изучено влияние структурной неоднородности материала магистральных труб на развитие в них усталостной трещины в условиях коррозионного воздействия среды. Обнаружено влияние коррозионной среды на скорость роста усталостной трещины материала магистральной трубы из стали 09Г2С, выявлена связь кинетики роста трещины с условиями усталостного испытания и воздействия коррозионной среды, показано, что наличие сдвиговой компоненты в текстуре поверхностных слоев и ее протяженность по глубине стенки трубы может служить количественным критерием неоднородности процесса деформации исходного листа и дает возможность контролировать эту неоднородность с целью оптимизации ресурсных характеристик магистральных труб. Найдена корреляция между интенсивностями текстурных компонент, относящихся к текстуре прокатки  $\{100\}$ ,  $\{112\}$  и  $\{111\}$  и компоненты текстуры сдвига  $\{110\}$  в зависимости от температуры финишной прокатки листовых заготовок для свертки магистральных труб, при этом показано, что от этой температуры зависит комплекс механических свойств материала. Найденная количественная корреляция между температурой финишной прокатки и текстурой представляет значительный интерес, поскольку это дает уникальную возможность оценивать технологическую историю магистральной трубы на любой стадии ее эксплуатации в том числе и в аварийных случаях. В перспективе это позволит выявить корреляцию долговечности труб с параметрами технологии. Такая возможность обусловлена тем, что текстура трубы не меняется в процессе эксплуатации, разумеется, за исключением аварийных случаев, сопровождающихся нагревами, превышающими температуры рекристаллизации или фазового превращения.

### **Установление взаимосвязи характеристик порошка с параметрами колебательного процесса его истечения через воронку типа воронки Холла**

Орлов А.А.

Научный руководитель – Шляпин С.Д.

МАИ, г. Москва

Параметры истечения порошков из колеблющейся воронки Холла зависят от характеристик порошков – размеров, формы, степени анизотропности деформации частиц.

Известно, что при получении порошков в них, как правило, возникают различные анизотропные деформации. Получаемые порошки характеризуются широким диапазоном размеров частиц (в среднем от 10 до 500 мкм). Особый интерес представляет возможность экспрессной идентификации порошков по результатам анализа колебательного процесса их истечения.

Объектом исследования в статье являются порошки различного размера и природы, которые подвергаются тестированию с помощью воронки Холла. [1] Легкая воронка оснащена трифилярным подвесом [2] и может совершать крутильные колебания. Выходное отверстие воронки направлено вертикально вниз. Лазерная указка закреплена горизонтально на верхней кромке воронки с помощью накладной планки. Луч лазера направлен на экран, разделенный вертикальными линиями. Области экрана между линиями пронумерованы по порядку.

В ходе исследования измеряются: время фиксированного количества колебаний данного крутильного маятника. При измерении в воронку засыпают 0,25л порошка, поворачивают воронку на заданный угол при закрытом выходном отверстии. Затем одновременно отпускают воронку, открывают ее выходное отверстие, запускают секундомер и измеряют время 45 колебаний. Фиксация измерений проводится по световому пятну лазерной указки.

Испытывались шесть различных порошков. С каждым порошком проводились шесть опытов, по которым вычислялся усредненный период колебаний воронки: титановый порошок Ti-5553 – 152,5сек; титановый порошок VT-22 – 153,3сек; стеклошарики 67-122мкм – 173,3сек; стеклошарики 400-600мкм- 158,3сек; микросферы 100 – 500 мкм-200,3сек; микросферы 10 – 100мкм- 192,6сек.

В других исследованиях, с помощью фотосъемки фиксировались положения светового пятна на экране в крайних точках при колебаниях, а также положение пятна в точках экрана по заданным ударам метронома.

В результате установлена высокая повторяемость событий при испытании одноименных порошков. Новизной исследования является установление взаимосвязи характеристик порошка с параметрами колебательного процесса его истечения и получение числовых показателей сыпучих материалов, находящихся в динамическом состоянии.

Предлагается использовать эти динамические показатели порошков для их входного контроля перед использованием по назначению. К примеру, при существующей классификации титановых сплавов по фазовому составу [3] можно использовать данный метод для первичной идентификации титанового порошка и оценки его свойств как физических, так и механических.

## **Влияние кремния на структуру мартенситно-старееющих сталей, полученных плазменной наплавкой**

Парфенов Н.И.

Научный руководитель – Фомичева Н.Б.

ТулГУ, г. Тула

Среди мартенситно-старееющих сталей (МСС) особое положение занимают экономнолегированные, в том числе наFe-Cr-Niи Fe-Co-Ni основах, не склонные

к трещинообразованию и прижогам. Для этих сплавов характерна возможность сведения упрочняющей термической обработки к одной операции - низкотемпературному старению, а также малая изменяемость геометрических размеров деталей в процессе окончательной термообработки. Однако, в связи с их склонностью к образованию ликвационной неоднородности и невысокой твердости рекомендуется дополнительное легирование. Применение в качестве легирующего элемента Si позволяет значительно повышать технико-экономические показатели мартенситно-старяющихся материалов. Тем не менее, данные о влиянии Si на структурообразование и свойства материалов в литом состоянии противоречивы, тем более, в состоянии плазменной порошковой наплавки.

Анализ работ по влиянию легирующих элементов на свойства мартенситно-старяющихся сталей показал, что в качестве упрочняющей добавки перспективно использования Si, который уменьшает равновесную растворимость Mn в  $\alpha$ - и  $\gamma$ -железе, увеличивая одновременно эффект дисперсионного твердения.

В качестве базовых были приняты порошковые мартенситно- старяющиеся экономнолегированные стали на основе Fe-Cr-Ni и Fe-Co-Ni с добавками Si от 1 до 9 мас.%. Для наплавки использовали порошки с фракциями от 40 до 400 мкм.

В ходе изучения микроструктуры наплавочных материалов было получено, что наплавочный слой имеет мелкокристаллическое дендритное строение. Причем первичные дендриты формируются на базе зерен основного металла, а вторичные зарождаются на основе первичных дендритов в направлении максимального отвода тепла.

Металлографические исследования наплавленных сталей позволили обнаружить включения, имеющие продолговатую форму, располагающиеся вдоль границ зерен, которые появляются в структуре наплавки уже при концентрации 4% Si (по массе), но сплошную сетку по границам зерен образуют при содержании кремния ~ 6-8 мас.%. Включения имеют неправильную вытянутую форму и голубоватую окраску и были идентифицированы как соединение SiO<sub>2</sub>. Выделение оксидов кремния препятствует образованию длиномерных осей первого порядка, формирующих оси дендритов.

Таким образом, в процессе наплавки Fe-Cr-Ni и Fe-Co-Ni материалов с содержанием Si более ~ 4 мас.% образуется «оболочковая структура», препятствующая формированию дендритов, что будет наследственно позитивно сказываться на эксплуатационных свойствах наплавленных МСС.

## **Статистическое исследование качества слитков титанового сплава Ti-6Al-4V**

Перевозова Е.А., Филякова В.А., Зубакова Е.Г.

Научные руководители – Егорова Ю.Б., Чибисова Е.В.

МАИ, Ступинский филиал

Цель настоящей работы заключалась в том, чтобы на основе статистического анализа оценить качество промышленных слитков титановых сплавов Ti-6Al-4V, изготовленных в 2000-2014 годах. В качестве статистических данных использовали результаты промышленного контроля содержания легирующих элементов и примесей. Объектами исследования послужили слитки сплавов

ВТ6, ВТ6ч, Grade 5. Слитки 2000-2009 гг. были выплавлены методом двойного и тройного вакуумного дугового переплава (ВДП), а 2010-2014 г.г. – гарнисажным + тройным вакуумным дуговым переплавом (ГВДП). Часть слитков была дополнительно легирована кислородом для повышения прочности. Статистическую обработку проводили с помощью ППП «Stadia». Определяли следующие статистические показатели: размах, выборочное среднее, дисперсию, стандартное отклонение, коэффициент вариации; проводили проверку нормальности распределения. Химический состав слитков, выплавленных разными способами, мало отличается, но можно отметить несколько большее содержание примесей в слитках двойного ВДП. Диапазоны легирования Al и V не выходят за установленные пределы. Коэффициент вариации равен 1,5-5,0 %, что свидетельствует о достаточно высокой однородности химического состава и удовлетворяет требованиям Руководства Р СЦМ-04 ( $\leq 7\%$ ). Однако гистограммы и «трехсигмовые» интервалы для алюминия, ванадия и кислорода сдвинуты к верхнему пределу поля допуска, а среднее фактическое содержание алюминия и ванадия выше среднего по ОСТ на  $\sim 0,4 \pm 0,5\%$  практически для всех слитков. В результате этого «3 $\sigma$ -интервал» может выходить за верхнюю границу поля допуска. В частности, для слитков ВДП несоответствие содержания алюминия по верхнему пределу может появиться с вероятностным процентом несоответствий 1,8%, т.е. 18 слитков из 1000 могут иметь брак по верхнему пределу (табл.)

Таблица вероятностный процент несоответствий  $P_t^{P^B}$  содержания легирующих элементов по верхнему пределу в слитках титановых сплавов ВТ6 и Grade 5

Элемент	Количество слитков в партии	$X_{\max}^{НД}, \%$	$X_{\max}^{факт}, \%$	Среднее по факту, %	Стандартное отклонение, %	$P_t^{P^B}, \%$	Вероятно ст. Кол-во браков. Слитков на 1000	$\bar{X}_{реком}, \%$ не более
Слитки ВДП сплава ВТ6								
Al	66	6,8	6,8	6,40	0,200	1,8 1	18-19	6,15
Слитки ВДП сплава Grade 5								
Al	81	6,7	6,7	6,45	0,110	0,4 5	4-5	6,30
V	81	4,5	4,4	4,13	0,14	1,4 5	14-15	3,95
Слитки ГВДП сплава ВТ6								
Al	20	6,8	6,7	6,52	0,100	0,2 6	2-3	6,25
V	20	5,3	5,23	4,90	0,152	0,4 3	4-5	4,75
O	20	0,2	0,195	0,175	0,011	0,1 3	1-2	0,16

Примечание: \* - верхняя граница поля допуска по нормативной документации (НД).

Для того чтобы исключить брак по верхнему пределу необходимо, чтобы вероятностный процент несоответствий был менее 0,05%, т.е. < 5 несоответствий на 10 000 слитков. Для этого при существующем технологическом уровне производства целесообразно снизить среднее статистическое содержание  $\bar{X}_{\text{ревал}}$  алюминия и ванадия на ~0,2-0,3%, кислорода – на ~0,01-0,02%.

## **Усовершенствование технологического процесса ремонта деталей ГТД**

Полякова К.С.

Научный руководитель – Куртаева Ф.Н.  
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

При решении актуальной задачи продления ресурса работы наземного двигателя газоперекачивающего агрегата острым становится вопрос о выборе в пользу ремонта или в пользу изготовления новых деталей. Деталь ГТД, подлежащая ремонту изготовлена из отечественного деформируемого титанового сплава ОТ-4. В детали обнаружены следующие дефекты: забоины, раковины и локальные износы трущихся поверхностей. Ввиду вышеизложенного, наиболее технологичным методом исправления поверхностных дефектов рабочих колец компрессора низкого давления ГТД является ремонт методом пайки порошковым титановым сплавом.

Предлагается следующая ремонтная технология:

- Подготовка рабочего кольца под пайку.
- Сборка под пайку.
- Пайка.
- Контроль качества пайки.

Данная технология была реализована на моторостроительном предприятии. Процесс подготовки под пайку: кольцо было протравлено соляной кислотой, канавка зачищена металлической щеткой. Сборка под пайку. Способ №1. В часть канавки по периметру 50-60% (длины окружности) была уложена сварочная проволока ВТ20-2 св 3мм. Проволока прихватывалась конденсаторной точечной сваркой шагом 5...10мм. В канавку кольца в местах прихватки проволоки насыпался порошковый припой ВПр 16 с таким расчетом, чтобы перекрывалась половина высоты проволоки, после чего припой закреплялся акриловой смолой БМК-5. Способ №2. В целях выбора оптимальной технологии ремонта в другую канавку этой детали первым слоем насыпался титановый сплав ПТОМ-1 высотой 0,8-1,2мм, после чего поверхность пропитывалась акриловой смолой БМК-5. Затем вторым слоем после высыхания смолы насыпался порошковый припой ВПр 16 высотой 0,5...0,8мм, который так же закреплялся смолой. Пайка осуществлялась в вакуумной печи.

Металлографическим исследованием паяного шва сварочной проволокой ВТ20-1 (способ подготовки №1) выявлены: разнотолщинность паяного шва; наличие участков неравномерного распределения припоя, на этих участках отмечается наличие диффузионной зоны только на проволоке; непропай; наличие диффузионной зоны взаимодействия припоя с основным материалом проволоки и стенки канавки в местах формирования равномерного паяного шва

Металлографическое исследование паяного шва порошковым титановым сплавом (способ №2) показало: толщина паяного шва равномерна; микроструктура зоны пайки однородная, плотная, дефектов нет; наличие диффузионной зоны взаимодействия основного металла кольца со смесью порошковый титановый сплав + припой.

Так как при ремонте сварочной проволокой обнаружен непропай, то наиболее эффективной была признана технология ремонта порошковым сплавом, при этом порошок наносить только по местам ремонта.

Отремонтированное кольцо было признано пригодным для дальнейшей эксплуатации в составе изделия НК-16СТ. В результате ремонта увеличен рабочий ресурс детали до 35000 часов, а это 5 лет непрерывной работы двигателя.

### **Влияние термической обработки на формирование структуры в сплаве на основе $Ti_3Al$ , дополнительно легированного водородом**

Гвоздева О.Н., Пожого В.А.

Научный руководитель – Скворцова С.В.

МАИ, г. Москва

Жаропрочные сплавы на основе  $Ti_3Al$  являются перспективными материалами для различных изделий авиационной и космической техники благодаря высоким показателям удельной прочности и жаропрочности. Структура сплавов при нормальной и рабочей температурах представлена  $\alpha_2$  и  $\beta$ -фазами. Легирование ниобием позволяет повысить пластичность сплавов за счёт снижения степени упорядочения интерметаллида  $Ti_3Al$  и, в основном, за счёт образования неупорядоченной  $\beta$ -фазы.

Многочисленные исследования сплавов на основе  $Ti_3Al$ , проводимые в последние годы в России и за рубежом, показывают, что наилучшее сочетание механических и важнейших эксплуатационных свойств обеспечивают структуры бимодального типа. В сплавах с достаточно высокой объёмной долей  $\beta$ -фазы такие структуры могут быть сформированы в результате термической или термомеханической обработок. Однако для сплавов на основе  $Ti_3Al$  с малой объёмной долей  $\beta$ -фазы, как например альфа-2 сплав  $Ti-14Al-3Nb-3V-0,5Zr$ , возможности получения термостабильной бимодальной структуры с заданными морфологическими и размерными параметрами весьма ограничены. Управлять структурой титановых сплавов в широких пределах и повышать как технологические, так и механические свойства позволяет водородная технология, основанная на обратимом легировании водородом, в частности термоводородной обработкой.

В ранее проведённых исследованиях для жаропрочного титанового сплава  $Ti-14Al-3Nb-3V-0,5Zr$ , используя эффект водородного пластифицирования, были получены экспериментальные образцы листа толщиной 2,5 мм в наводороженном состоянии. Прокатку осуществляли при температуре 950°C, что на 150-200°C ниже, чем обычно используется для сплавов данного класса.

На следующей стадии обработки применялся вакуумный отжиг, необходимый для снижения содержания водорода в сплаве до безопасных концентраций, при которых гарантированно не развивается водородная хрупкость. Вакуумный

отжиг проводили при температурах 850°C и 950°C. Продолжительность вакуумного отжига при всех температурах должна обеспечивать удаление водорода до безопасных концентраций (не более 0,006 – 0,008%).

Установлено, что в процессе вакуумного отжига при температурах 850 и 950°C процессы роста  $\alpha_2$ -фазы преобладает над процессом её зарождения. В результате формируется структура, состоящая из  $\alpha_2$ -зерен с небольшим количеством  $\beta$ -фазы, располагающейся по границам.

Для создания бимодальной структуры был опробован режим двухступенчатого вакуумного отжига. На первой низкотемпературной ступени при температуре 550°C происходят процессы зарождения и роста вторичной  $\alpha_2$ -фазы в водородосодержащей

$\beta$ -фазе. На второй ступени вакуумного отжига при температуре 850°C происходит удаление водорода до безопасных концентраций. В результате формируется бимодальная структура, состоящая из рекристаллизованных  $\alpha_2$ -зерен с небольшим количеством  $\beta$ -фазы, располагающейся по границам.

На основании проведенных исследований было получено, что пластическая деформация в наводороженном состоянии, и двухступенчатый вакуумный отжиг позволяют сформировать структуру с рекристаллизованной  $\alpha_2$ -фазой.

### **Исследование кинетических особенностей распада остаточного аустенита при отпуске закаленной высокоуглеродистой стали**

Ромашова В.В.

Научный руководитель – Гончаров С.С.

ТулГУ, г. Тула

Широкое использование в машиностроительной отрасли инструментальных сталей требует более точных данных о процессах, протекающих на стадии окончательного формирования необходимых свойств, а именно при отпуске. Процессы структуро- и фазообразования при отпуске имеют большое практическое значение, так как на этой основе возможно решать задачи разработки режимов термической обработки, обеспечивающей необходимый комплекс свойств.

Анализ периодической и научной литературы показал, что сведения о кинетике распада остаточного аустенита, изменении его тонкого строения в зависимости от температурно-временных параметров отпуска немногочисленны, имеет место неоднозначность трактования механизма его распада в процессе отпуска.

Это предопределило цель настоящей работы, заключающейся в исследовании кинетики распада остаточного аустенита и уточнения его механизма на примере высокоуглеродистой, инструментальной стали У12.

Образцы исследуемой стали подвергали термическим обработкам, включающим закалку и различные температурно-временные режимы отпуска.

С применением рентгеноструктурного и дилатометрического анализов получены кинетические зависимости изменения количества остаточного аустенита от температурно- временных параметров отпуска. Методом рентгеноструктурного анализа установлено, что в закаленной исследуемой стали У12 содержится 36 % остаточного аустенита и его количество в процессе

отпуска при всех реализованных режимах снижается. Более интенсивно этот процесс наблюдается при температурах 250 и 300 °С. Оценено изменение параметра кристаллической решетки и содержание углерода в остаточном аустените в процессе отпуска. Установлено, что в процессе отпуска происходит перераспределение углерода с образованием областей с пониженным и повышенным его содержанием. Это характерно для протекания частичного бейнитного превращения, что позволило сделать вывод о том, что распад остаточного аустенита при отпуске протекает по механизму бейнитного превращения.

## **Влияние параметров совместного размола порошков никеля и нитрида алюминия на технологические свойства смесей**

Ручкина В.С.

Научный руководитель – Кузина А.А.  
СГАУ им. акад. С.П. Королёва, г. Самара

Развитие современной техники характеризуется возрастающими требованиями к проблеме разработки технологий изготовления материалов с заданными свойствами и материалов, способных эксплуатироваться в условиях сложного температурного, полевого и других видов воздействия. Весьма важным и перспективным научным направлением остается изыскание путей и принципов создания (на основе сочетания различных металлических, а также металлических и неметаллических компонентов) композиционных материалов, в ряде случаев обладающих значительно более высокими физико-механическими свойствами, чем применяемые в настоящее время металлические материалы. Качество получаемых слитков и отливок зависит прежде всего от качества исходной шихты, особенно лигатур.

Целью данной работы было исследование влияния режимов механического смешивания порошка электролитического никеля и порошковой композиции  $\text{AlN} + \text{Na}_3\text{AlF}_6$  на технологические свойства полученных смесей, предназначенных для получения брикетов - лигатур, используемых для последующего введения в расплав алюминиевых сплавов.

Исходными компонентами для приготовления смеси были: порошок никеля (Ni) с размером частиц до 75 мкм и порошковая композиция, состоящая из нитрида алюминия (AlN) - 65% и гексафторалюмината натрия ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) - 35%, полученная по азидной технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в СамГТУ, в виде волокон размером до 100 нм. Конечные свойства брикетов – лигатур в значительной степени определяются качеством перемешивания различных компонентов шихты. В связи с этим операции перемешивания, несмотря на простоту оборудования, следует уделять большое внимание. Необходимо контролировать равномерность перемешивания компонентов и стабильность технологических параметров смеси (насыпную массу, прессуемость и др.), что крайне важно в процессах приготовления лигатур и готовых изделий. Перемешивание порошков осуществлялось «всухую», т.е. без добавления жидких компонентов (спирта, воды и т.п.) в центробежной планетарной мельнице «Пульверизетте-5» со скоростью 100 - 150 об./мин. и в шаровой мельнице со скоростью 47 об./мин. в течение 30...60

минут. В качестве мелющих тел использовались стальные шары диаметром 10 и 20 мм, соотношение массы шаров к массе порошковой смеси - 10:1. Получены порошковые смеси, содержащие упрочняющие частицы AlN в количестве 2,5...5%. Качество смешивания полученных композиций оценивали по химическому и гранулометрическому составам. При размоле до 30...45 минут наблюдается значительный разброс доли фракции AlN, что говорит о не протекании исследуемых порошковых композиций. После размолы порошков в течение 60 минут ребра частиц становятся округлыми, наблюдаются отдельные частицы пластинчатой формы, выравнивается гранулометрический состав порошков. Таким образом, с увеличением времени смешивания в мельнице «Пульверизетте-5» наблюдается наклеп частиц порошка, что приводит к увеличению давления прессования при последующем приготовлении брикетов – лигатур из данной порошковой композиции. При смешивании исследуемых смесей в шаровой мельнице в течение 60 минут ярко выраженного наклепа частиц не наблюдается. Однако все полученные порошковые композиции практически не обладают текучестью.

### **Рентгенографические исследования кинетики бейнитного превращения в рессорно-пружинной стали 60С2А**

Русакова Е.О.

Научный руководитель – Гончаров С.С.

ТулГУ, г. Тула

Изотермическая обработка применяется для многих машиностроительных сталей, в частности для рессорно-пружинных. При такой обработке, благодаря формированию особого структурного и фазового состояния, значительно повышаются сопротивление хрупкому разрушению и усталостная прочность. Поэтому изучение особенностей протекания бейнитного и частичного бейнитного превращения является актуальной задачей теории и технологии термической обработки.

Современные представления о механизме промежуточного превращения вытекают, из результатов исследований механизма  $\gamma \rightarrow \alpha$  перехода, состава  $\alpha$ -фазы, процессов перераспределения углерода в аустените в ходе превращения, морфологии карбидных фаз, выделяющихся из  $\alpha$ -фазы и аустенита.

Своеобразие кинетики промежуточного превращения и структур, образующихся в результате этого превращения, определяется в основном особенностями процессов диффузионного перераспределения углерода и выделения карбидных фаз в зависимости от состава стали.

В настоящей работе для изучения кинетики бейнитного превращения применили метод изотермических выдержек с последующим рентгеноструктурным анализом. Для этого образцы стали после аустенитизации перенесли в соляную ванну, нагретую до требуемой температуры бейнитного (310 °С, 360 °С, 410 °С), превращения. В ней образцы в течение нескольких секунд принимают температуру ванны, далее реализуется изотермическая выдержка. После определенной выдержки, во время которой происходит бейнитное превращение, образцы быстро охлаждали.

Рентгеноструктурный анализ позволил установить, наличие остаточного аустенита после изотермических выдержек, причем с увеличением температуры увеличивается количество остаточного аустенита при всех временах выдержек.

Оценка изменения содержания углерода в остаточном аустените, периода кристаллической решетки, позволила сделать вывод, что в процессе бейнитного превращения имеет место перераспределение углерода с образованием областей аустенита, обогащенных и обедненных углеродом.

На основе исследования состояния и фаз установлено, что фаза пересыщена углеродом тем сильнее, чем ниже температура превращения и обратная ситуация наблюдается при исследовании состояния фазы. Из этого следует, что в области нижнего бейнита преимущественным процессом является  $\gamma \rightarrow \alpha$  – превращение с последующим выделением карбидов из  $\alpha$  – фазы, а в области формирования верхнего бейнита, когда аустенит сильно обогащен углеродом, преимущественным процессом является выделение карбидов из  $\gamma$  – фазы.

### **Анализ кинетической диаграммы усталостного разрушения термодиффузионных покрытий**

Русин И.С.

Научный руководитель – Нечаев Л.М.

ТулГУ, г. Тула

При проведении циклического нагружения разрушающие нагрузки для конструкций с трещинами и характеристики вязкости разрушения покрытий могут быть значительно ниже, чем при статическом.

Трещиностойкость при циклическом нагружении определяется кинетической диаграммой усталостного разрушения (КДУР), которая показывает зависимость скорости роста трещины  $K$  от наибольшего коэффициента интенсивности напряжений цикла  $K_{\max}$  или его размаха ( $\Delta K = K_{\max} - K_{\min}$ ).

Как правило, на КДУР можно выделить три типичных участка: криволинейный участок с характерными малыми значениями коэффициента интенсивности напряжений и скорости распространения трещины; прямолинейный участок, который может быть описан уравнением Пэриса, и участок с большими значениями коэффициента интенсивности напряжений и скорости распространения трещины. Конечная точка этого участка соответствует моменту разрушения образца.

Малые трещины в зависимости от действующего уровня напряжений могут распространяться и перерасти в длинные. С другой стороны, существует такой уровень напряжений, при котором трещина не обладает способностью к распространению. Критический размер неустойчивой малой трещины  $l_{кр}$  соизмеримс эффективной глубиной диффузионной зоны.

Время существования малой трещины определяется также гетерогенностью диффузионной зоны, и ее изменение может быть связано с приложенным напряжением.

При малых напряжениях малая трещина развивается с ускорением по глубине диффузионных зон слоев любой гетерогенности. При этом надо отметить, что чем выше гетерогенность, тем больше стартовая скорость. С увеличением напряжения и плотности частиц второй фазы скорость старта

трещин с поверхности возрастает. С повышением степени структурной гетерогенности зона с максимальной скоростью дефекта переносится вглубь диффузионной зоны. При этом, чем больше размер дисперсных частиц второй фазы (0,04-0,05 мкм), тем активнее торможение осуществляется на стадии развития трещины.

Таким образом, частицы второй фазы играют двойную роль: крупные включения размерами 0,1-0,2 мкм являются концентраторами напряжений, способствуя разрушению, мелкие же величиной 0,04-0,05 мкм играют роль стопоров.

Отчетливо проявляется влияние частиц фаз при высоких напряжениях. Трещины стартуют с высокой скоростью от поверхности в любом по гетерогенности слое, так как в приповерхностной диффузионной зоне существует достаточно высокая плотность крупных частиц, играющих роль концентраторов напряжений. По мере развития трещина начинает тормозиться, и это обусловлено частицами-стопорами.

Результаты доказывают, что одним из необходимых условий формирования малых трещин является структурная гетерогенность. Уровень внешних напряжений предопределяет условия развития и перерастания малых трещин либо в магистральные, либо в разряд нераспространяющихся.

### **Исследование влияния термоводородной обработки на коррозионные свойства сплава Zr-2,5%Nb**

Азаров А.А., Сафарян А.И.

Научный руководитель – Мамонов А.М.

МАИ, г. Москва

Сплавы на основе титана и циркония являются одними из лучших металлических материалов по биологической совместимости, коррозионной стойкости в среде организма человека, удельной прочности, что определяет их известные преимущества при использовании в качестве материалов для имплантируемых медицинских изделий.

Исследования проводили на образцах, вырезанных из прутка сплава Э-125 (Zr-2,5Nb) диаметром 40 мм. Термоводородная обработка включала насыщение водородом до концентраций 0,4 и 0,6% по массе при температурах 700 и 800°C (в  $\beta$ -области) и двухступенчатый вакуумный отжиг при температурах 550 и 700°C. В результате ТВО достигается более однородное и мелкодисперсное структурное состояние, характеризующееся частичной глобуляризацией  $\alpha$ -пластин или уменьшением отношения их длины к толщине. Однако достичь степени измельчения структуры, характерной для титановых сплавов (в частности, ВТ20), не удается.

Исследование коррозионной стойкости образцов проводили методом анодной потенциодинамической поляризации в растворе Рингера (0,9% водном растворе NaCl), имитирующем среду человеческого организма, в условиях естественной аэрации. Скорость развертки потенциала составляла 0,2 мВ/с.

Как показали проведенные исследования, хронограммы потенциалов, полученные для образцов из циркониевого сплава Э-125, не имеют принципиальных отличий от хронограмм образцов из титанового сплава ВТ20.

На всех хронограммах электродный потенциал либо быстро устанавливается после погружения образцов в испытательный раствор, либо незначительно смещается в положительную сторону, что свидетельствует о пассивном состоянии материала.

Сравнение анодных поляризационных кривых образцов из циркониевого сплава Э-125 в исходном состоянии и после ТВО с поляризационными кривыми, полученными для титанового сплава ВТ20, показало, что они имеют аналогичный характер. На всех кривых образцов из сплава Э-125 присутствует четко выраженная область пассивного состояния, плотность тока которого соизмерима с плотностью тока, полученной для образцов из титанового сплава. В то же время необходимо отметить значительную разницу в протяженности пассивной области, полученной для разных образцов из сплава Э-125 с исходной микроструктурой, что свидетельствует о нестабильности его коррозионных свойств и согласуется с данными отечественных и зарубежных исследований. В них отмечается, что активирование поверхности циркония и его низколегированных сплавов в среде, содержащей ионы  $Cl^-$ , сопровождающееся локальным растворением защитного оксидного слоя, происходит при анодной поляризации в широкой области потенциалов (+300 ÷ +1400 мВ).

Методом оптической микроскопии выявлены многочисленные локальные коррозионные повреждения поверхности исходного образца, полученные при потенциале +440 мВ. При потенциале +1697 мВ получено единичное повреждение меньшего размера. Параметр шероховатости поверхности образцов  $R_a$  после испытаний не изменился.

Таким образом, установлено, что применение ТВО позволяет устранить характерную для исходного состояния нестабильность коррозионных свойств образцов из циркониевого сплава Э-125 и значительно повысить потенциал пробоя  $E_{по}$  за счет формирования более однородной и мелкодисперсной микроструктуры образцов, обеспечивающей образование на их поверхности после полировки более совершенной оксидной пленки.

## **Расчёт температурного поля металлического образца при закалке в воде методом компьютерного моделирования**

Санов А.В.

Научный руководитель – Драницин А.В.

МАИ, Ступинский филиал

При закалке металлических изделий (безотносительно к применяемому способу закалки) важно знать распределение температурных полей в охлаждаемом изделии, которые позволяют судить об уровне возникающих термических и структурных напряжений и определять прокаливаемость изделий, а также выбирать оптимальные технологические параметры процесса закалки.

Экспериментальное определение температурных полей в охлаждаемом изделии при закалке является весьма трудоемким делом и в методическом плане наталкивается на ряд принципиальных трудностей. Аналитический расчет температурных полей при закалке металлических изделий невозможен,

поскольку возникает необходимость решения нелинейной задачи нестационарной теплопроводности с нелинейными граничными условиями. Целесообразным способом решения этой проблемы является разработка математической модели тепловых процессов при закалке и проведение на базе этой модели вычислительных экспериментов с последующим сопоставлением результатов компьютерного моделирования с экспериментальными данными.

Как известно, математическая модель процесса закалки основывается на нелинейном уравнении нестационарной теплопроводности, в котором учитывается зависимость теплофизических свойств материала закаливаемого изделия от температуры. Граничные условия в этой модели (при ее общей формулировке) соответствуют следующей последовательности стадий охлаждения при закалке, характеризуемых определенным уровнем коэффициента теплоотдачи: 1) пленочное кипение охлаждающей жидкости; 2) пузырьковое кипение; 3) конвективная теплоотдача от поверхности изделия к однофазной охлаждающей жидкости (когда температура поверхности закаливаемого изделия становится близкой к температуре насыщения охлаждающей жидкости).

В настоящей работе разработан алгоритм расчета температурного поля цилиндрического металлического образца, распределений градиента температуры и скорости охлаждения по сечению образца при его закалке в спокойной воде при атмосферном и избыточном давлении. Длина образца не менее чем в 5 раз превосходила его диаметр. Это позволило рассматривать математическую модель процесса закалки в одномерной постановке. В качестве материала образца исследовали стали марок 45 и У12, титановый сплав ВТ6 и дуралюмин марки 1160 (Д16). Для расчета температурного поля применяли метод конечных разностей с использованием явной схемы расчета. На базе разработанного алгоритма составлена компьютерная программа.

Наложение рассчитанных кривых охлаждения на термокинетические диаграммы (при наличии таковых) или диаграммы изотермического распада переохлажденного твердого раствора, соответствующие исследованным материалам, позволило оценить критические диаметры при закалке образцов из рассмотренных сплавов. Показано, что расчетные значения критических диаметров хорошо согласуются с известными экспериментальными данными в том случае, если при расчете пренебречь стадией пленочного кипения. Установлено, что при увеличении внешнего давления, интенсивность охлаждения при закалке снижается и уменьшаются градиенты температуры в сечении образца, т.е. уменьшаются термические напряжения. Поэтому применение избыточного внешнего давления при закалке в воде деталей из термически упрочняемых металлических сплавов (обладающих сравнительно большой устойчивостью переохлажденного твердого раствора) позволит повысить их надежность и долговечность при эксплуатации.

## Влияние структуры материала на усталостные характеристики транспедикулярных винтов из сплава ВТ6

Сайфутдинова М.С., Виноградов Р.Е.

Научный руководитель – Гусев Д.Е.

МАИ, г. Москва

Авиационная промышленность является основным потребителем титановых сплавов из-за их малого удельного веса и высокой прочности (особенно при повышенных температурах). Так же титан и его сплавы хорошо зарекомендовали себя как «медицинские» материалы из-за высокой коррозионной стойкости, биологической инертности и совместимости. Основным материалом для изготовления силовых компонентов имплантатов является сплав Ti-6Al-4V (ВТ6).

В работе изучено влияние структуры на свойства винтов, выполненных из сплава ВТ6, входящих в транспедикулярную конструкцию (ТК) для лечения травм и заболеваний позвоночника. ТК испытывает интенсивные циклические нагрузки при функциональных движениях пациента. Поэтому надежность элементов конструкции определяется усталостными свойствами материала.

Анализ микроструктуры винтов из сплава Ti-6Al-4V (ВТ6), взятых у разных производителей, показал, что у готовых изделий она может изменяться в широких пределах. Исследованные микроструктуры можно разделить на следующие классы:

- $(\alpha+\beta)$  - структура, в которой преобладают крупные и/или средние по размеру пластины  $\alpha$ -фазы. В такой структуре возможно также наличие и крупных равноосных частиц  $\alpha$ -фазы (например, у винтов производителей OsteoMed и Медбиотех).
- Дисперсная  $(\alpha+\beta)$  - структура (винты производителей Stryker, Medtronic, CHM, IRENE, Aesculap). Такая структура характеризуется равномерным (однородным) распределением дисперсных частиц  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз во всему образцу. В ряде случаев подобная структура имеет ярко выраженную строчечность, обусловленную особенностями (температура-деформация) технологических процессов получения полуфабрикатов (прутков) из титанового сплава.
- Бимодальная  $(\alpha+\beta)$  - структура (винты производителей XRBEST, ORTO, Y-BETTER, Bonovo), отличается наличием как достаточно крупных глобулярных частиц  $\alpha$ -фазы так и областями с однородной дисперсной  $(\alpha+\beta)$  - структурой.
- Исходя из этого, транспедикулярные винты различаются уровнем усталостных свойств, напрямую зависящих от структуры материала. По результатам усталостных испытаний, которые проводили методом консольного изгиба в условиях, имитирующих эксплуатационные, все винты можно разделить на две группы:
  - Винты, у которых предел выносливости выше 0,75 Рпц (винты производителей Stryker и IRENE);
  - Винты, у которых предел выносливости находится в интервале (0,5-0,75) Рпц (винты остальных производителей); где Рпц – нагрузка,

соответствующая пределу пропорциональности, определяемая по результатам статических испытаний винтов.

- Таким образом, наиболее высокий уровень усталостных свойств характерен для винтов с дисперсной микроструктурой (класс 2), а наиболее низкий - проявляется у винтов с пластинчатой микроструктурой, у винтов с бимодальной структурой – наблюдается промежуточный уровень усталостных свойств.

## **Применение гадолиния в различных областях техники**

Шатрун Е.А., Юдаев С.В.

Научный руководитель – Мамонтова Н.А.

МАИ, г. Москва

В настоящее время существующие материалы не могут обеспечить должный уровень свойств, предъявляемый к современной технике, в частности к двигателям летательных аппаратов, в связи с этим появляется необходимость в получении новых систем легирования материалов, либо модификации применяемых. Использование редкоземельных металлов (РЗМ) является новым направлением в этой области. В данной работе на примере гадолиния рассмотрена актуальность применения РЗМ в качестве легирующего элемента в титановых сплавах.

Области применения гадолиния достаточно обширны: в атомной промышленности его используют при изготовлении стержней атомных реакторов и контейнеров для захоронения отходов; металлургия, а именно в качестве микролегирующего компонента; криотехника – создание холодильных установок нового поколения; в медицине применяют при магнитно-резонансной томографии; производство лазеров; производство цифровых носителей с большой плотностью записи информации; магнитотехника и постоянные магниты; оптика, а так же ювелирное дело. Весьма интересно добавить, что керамика на основе соединений гадолиния ( $GdBa_2Cu_3O_7$ ) является одним из самых высокотемпературных сверхпроводников – 94К. В каждой из этих областей гадолиний получил свое применение благодаря уникальному сочетанию комплекса свойств, характерному для всех РЗМ.

Особую роль редкоземельные элементы играют в качестве микролегирующих добавок к титановым сплавам. Обзор литературы показывает, что даже небольшое добавление гадолиния (до 0,2% масс.) существенно изменяет свойства, а именно: увеличивает термическую стабильность, жаропрочность, жаростойкость и существенно уменьшает концентрацию дефектов на границах зерен. В качестве примера, при добавлении в сплав ВТ15-1 гадолиния в количестве 0,02 масс.% позволяет существенно повышает жаростойкость сплава. Так же при введении в сплав ВТ23, состаренный при температуре 500С, позволяет повысить предел прочности на 10%, при неизменных пластических характеристиках.

Учитывая соотношение стоимости гадолиния и его вклада в улучшение свойств, его можно назвать одним из наиболее перспективных материалов для применения в аэро-космической, машиностроительной и других областях промышленности. Применение РЗМ в системах легирования позволяет, как

повышать эксплуатационные характеристики уже существующих материалов, так и создавать материалы со специальными свойствами. Данные особенности гадолиния делают его незаменимым для решения многих современных задач в области материаловедения и других областях промышленности.

### **Влияние металлизации алмазов на структурообразование и прочность композиционного материала**

Смирнова А.С., Шароди М.А.<sup>1</sup>, Мартьянов Н.В.<sup>2</sup>

Научные руководители – Ягудин Т.Г., Ратбиль Е.Э.

МАИ, <sup>1</sup>МНИРТИ, <sup>2</sup>ГБОУ СОШ №1130, г. Москва

Опыт эксплуатации алмазных инструментов показывает, что от 30 до 95 % алмазов выпадают из матрицы, не достигая значительного износа. Это связано с тем, что используемые технологии и связки не обеспечивают надежного закрепления зерен в металлической связке матрицы инструмента. Надежность алмазодержания и работоспособность инструмента в целом в значительной степени определяется природой контактного (переходного) слоя между алмазом и матрицей.

В качестве связки матрицы алмазных буровых коронок в большинстве случаев используют шихту WC-Co, пропитанную медью или ее сплавами, не смачивающими поверхность алмаза. При этом краевой угол смачивания составляет около 140°, а адгезия жидкой меди к алмазу незначительна и приближается к значению 200 мДж/м<sup>2</sup>.

Высокую энергию связи с алмазной поверхностью дают металлы, химически взаимодействующие с углеродом. В этом смысле предпочтительны переходные карбидообразующие элементы, образующие в результате межфазной реакции в таких системах на границе раздела карбидную прослойку, имеющую металлический характер межатомной связи и свойств. Работа адгезии таких металлов к поверхности алмаза велика и достигает 2000–3000 мДж/м<sup>2</sup> в условиях повышенных требований к работоспособности алмазного породоразрушающего инструмента проблемы создания, усовершенствования и повышения эффективности его использования являются актуальными и связанными с дальнейшим развитием научных основ формирования структуры и физико-механических свойств композиционных алмазосодержащих материалов (КАМ).

В последние годы одним из наиболее эффективных направлений повышения износостойкости алмазного породоразрушающего инструмента является применение для его оснащения высокопрочных алмазов с предварительно выполненными на них металлическими покрытиями из адгезионно-активных по отношению к ним металлов.

Исследования показывают, что на границе с алмазом образуются зоны соответственно карбида титана, хрома и вольфрама, которые плавно переходят в твердый раствор углерода в соответствующем элементе покрытия.

Анализ границы зоны алмаз - покрытие - матрица определяет четыре переходные зоны. Первая - алмаз. На поверхности алмаза после разрушения спеченного образца дискретно расположены светлые зоны образовавшихся на поверхности участков карбида металла покрытия. Переходная зона от покрытия к матрице толщиной от 2 до 4 мкм имеет совершенную плотную безпористую

структуру, что определяет качественное граничное диффузионное взаимодействие.

Таким образом, можно сказать, что нанесение на высокопрочные синтетические алмазы покрытия из адгезионно активных по отношению к ним тугоплавких металлов в большинстве случаев способствует повышению их прочности при статическом сжатии.

Сохранение в процессе изготовления алмазного инструмента покрытия в виде карбидного слоя металла, адгезионно активного по отношению к алмазу, и образования переходной зоны с интерметаллидами его и меди обеспечивает прочное соединение алмаза с связкой материала матрицы.

### **Формирование структуры и фазового состава сплава на основе интерметаллида $Ti_2AlNb$ при дополнительном легировании водородом**

Пожога В.А., Умарова О.З., Шарапкин Д.С.

Научный руководитель – Скворцова С.В.

МАИ, г. Москва

Сплавы на основе орторомбического интерметаллида титана  $Ti_2AlNb$  (орто-сплавы) обладают высокими удельными прочностными характеристиками, высокой жаростойкостью и жаропрочностью, что делает их одними из наиболее перспективных жаропрочных материалов для изготовления деталей, работающих при температурах до  $650^{\circ}C$ . Эти сплавы могут конкурировать как с промышленными жаропрочными титановыми сплавами, так и с жаропрочными сталями. По сравнению со сплавами на основе других алюминидов титана ( $Ti_3Al$  и  $TiAl$ ) орто-сплавы имеют более высокую технологическую пластичность, что позволяет изготавливать из них деформированные полуфабрикаты и изделия сложной формы. Однако принимая во внимание, что основой орто-сплавов является интерметаллид, данным материалам присущи те недостатки, с которыми сталкиваются исследователи при работе с материалами на основе упорядоченных структур. Это, прежде всего, ограниченные возможности повышения пластических свойств полуфабрикатов традиционными методами термической обработки.

На сегодняшний день разработаны технологии водородного пластифицирования, которые успешно применяются при обработке различных титановых сплавов, в том числе и на основе интерметаллидов титана, например  $Ti_3Al$ . В отношении сплавов на основе орто-фазы опыт применения водородных технологий на данный момент весьма ограничен. Однако имеющиеся предпосылки позволяют спрогнозировать возможность успешного применения данных технологий при обработке полуфабрикатов из орто-сплавов.

В данной работе были проведены исследования фазового состава и структуры сплава на основе интерметаллида  $Ti_2AlNb$  при дополнительном легировании водородом.

Исследования проводили на образцах, вырезанных из прутка диаметром 60 мм сплава ВТИ-4 ( $Ti-12Al-41,2Nb-0,89Mo-0,83V-1,27Zr-0,13Si$ , масс. %). Наводороживающий отжиг проводили в среде молекулярного водорода в установке Сиверса до концентраций 0,1; 0,2; 0,3 и 0,4 масс.%

Структура исходного полуфабриката представлена мелкодисперсной смесью  $\beta$ - и  $O$ -фаз, причем объемная доля  $O$ -фазы выше, чем  $\beta$ -фазы. Параметр решетки  $a\beta$ -фазы составил 0,3253 нм. При легировании сплава 0,1 масс.% водорода фазовый состав не изменяется, однако параметр  $a\beta$  увеличивается и составляет 0,3285 нм при неизменности параметров решетки  $O$ -фазы, что свидетельствует о растворении водорода в решетке  $\beta$ -фазы. Микроструктура сплава также не претерпевает изменений.

При введении в сплав 0,2; 0,3 и 0,4 масс.% водорода в структуре сплава не зафиксировано наличие  $\beta$ -фазы, а углы отражения для  $O$ -фазы смещаются в меньшую сторону с увеличением концентрации водорода от 0,2 до 0,4 масс.%, что указывает на увеличение параметров решетки  $O$ -фазы и, соответственно, на растворение в ней водорода. При исследовании микроструктуры сплава, легированного 0,2; 0,3 и 0,4 масс.% водорода, было обнаружено небольшое укрупнение пластин  $O$ -фазы.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что несмотря на то, что водород является  $\beta$ -стабилизатором, в сплаве на основе интерметаллида  $Ti_2AlNb$  не наблюдается стабилизации в структуре  $\beta$ -фазы. Увеличение в сплаве содержания водорода инициирует  $\beta \rightarrow O$  превращение, повышает температуры  $O/\beta$ - и  $\alpha_2/\beta$ -перехода и расширяет области существования  $O$ - и  $\alpha_2$ -фаз.

### **Разработка режима вакуумного отжига порошкового заэвтектического силумина САС-1-50**

Васенев В.В.

Научный руководитель – Осинцев О.Е.

МАИ, г. Москва

Порошковый алюминиевый сплав САС-1-50, содержащий 25...30%Si, 5...7%Ni, Al-основа, обладает рядом уникальных физических свойств, что определяет возможность его применения в космическом приборостроении. Технология получения литой заготовки обуславливает высокое содержание водорода, кислорода и поверхностной влаги в порошках этого сплава. Главным источником газонасыщения и появления поверхностной влаги является сильный перегрев жидкого металла для расплавления тугоплавких компонентов шихты и диспергирование и распыление жидкого металла при получении порошков. Газовые примеси резко ухудшают качество этого материала: способствуют образованию газовой пористости, снижают вакуумную плотность и т.д. Поэтому дегазация таких материалов является обязательной технологической операцией.

В связи с этим в данной работе представлены результаты исследования по разработке режима дегазации в вакуумном прессе. Затем в этом же прессе производилось компактирование порошков для получения брикетов-заготовок для последующего прессования или штамповки.

На основании изучения кинетики выделения газовых примесей (водорода, кислорода, влаги) при нагреве порошков в вакууме определены температурные интервалы наиболее активного их образования и разработаны режимы дегазации со ступенчатым подъемом температуры. Во всех случаях нагрев ограничивался температурой неравновесного солидуса сплава и составила  $\sim 535^\circ\text{C}$ . После

дегазации содержание водорода в САС-1-50 уменьшилось ~в 30 раз, что указывает на высокую эффективность разработанного режима.

Микроструктурный и рентгеноструктурный анализ показали, что длительные нагревы при дегазации не изменяют фазовый состав сплава, происходит только коагуляция первичных и эвтектических кристаллов кремния. При последующем компактировании и прессовании формируется матричная структура, в которой в мягкой и пластичной матрице алюминиевого твердого раствора равномерно распределены дисперсные твердые и хрупкие кристаллы кремния и интерметаллида NiAl<sub>3</sub>. Это повышает деформационные возможности сплава.

На основании полученных результатов успешно реализована технология изготовления компактных заготовок (брикетов) диаметром до 100 мм из сплава САС-1-50. Из брикетов изготовлена опытная партия прессованных прутков диаметром до 50 мм со следующим уровнем физико-механических свойств:  $\sigma_b \geq 280$  МПа;  $\sigma_{0,2} \geq 160$  МПа;  $E \geq 95$  ГПа;  $\delta \geq 2.3\%$ ;  $\sigma_{0,002} = 8-44$  МПа;  $\alpha \leq 15 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $\rho \approx 100\%$  от расчетной.

### **Использование механически легированных порошков в алмазном инструменте**

Васильева В.С., Лим Е.В., Ягудин Г.Т.<sup>1</sup>

Научный руководитель – Ягудин Т.Г.

МАИ, <sup>1</sup>ГБОУ СОШ №1250, г.Москва

В настоящее время в качестве связок алмазосодержащих композиционных материалов (АКМ) используют, как порошки готовых сплавов, так и порошковые смеси. Каждый из этих вариантов имеет свои преимущества и недостатки. Но и в том и в другом случае структуру связки, а, следовательно, и связанные с ней свойства, следует признать далекой от совершенства.

Так, в порошках готовых сплавов бронзы зерно изначально весьма крупное (до 25мкм), что отрицательно сказывается на характеристиках инструмента.

В порошковых смесях из-за необходимости выдержки при спекании для протекания сплавообразования также успевает заметно вырасти зерно. К тому же всегда имеющая место неравномерность распределения легирующих добавок в смеси после смешения приводит к разнородности и даже различию в фазовом составе по объему изделия.

В связи с этим в работе предложен и исследован еще один вариант формирования связки для АКМ – из механически легированных порошков системы медь-олово.

Проведено сравнение свойств исходных и механически легированных порошков. Состав порошковых смесей был выбран 20 % масс. олова в меди. Это соответствует составам связок АКМ, наиболее часто используемых в промышленном производстве алмазного инструмента.

Легирование осуществлялось в планетарной мельнице на воздухе в присутствии твердосплавных шаров в течение различного времени. После механического легирования порошковая система заметно увеличивает свою насыпную плотность (с 2,29 г/см<sup>3</sup> до 3,31 г/см<sup>3</sup>). Как правило, увеличение **унас** обуславливается изменением размеров и формы порошковых частиц. Исходная порошковая система представляет собой набор очень мелких частиц меди

дендритной формы и еще более мелких пылевидных частиц олова. После механического легирования порошковая система состоит из достаточно крупных округлых частиц размером порядка 100 мкм.

Для подтверждения прохождения процессов сплавообразования в работе применялся дифференциальный термический анализ. Отличительной особенностью кривых ДТА порошков после механического легирования в течение 5 часов является наличие лишь едва заметного пика плавления олова и практически полное отсутствие экзотермических эффектов. Грубая оценка количества оставшегося свободного олова по площадям пиков позволяет заключить, что оно составляет не более 10% от имевшегося первоначально. При более высоких температурах кривые ДТА механически легированных порошков совпадают с кривыми, полученными с исходных смесей.

После подтверждения образования механически легированного сплава были проведены сравнительные исследования исходных и экспериментальных смесей порошков по их спекаемости.

Спекаемость различных порошковых систем оценивалась по их усадке при различных температурах и временах термообработки. Предполагалось, что частичное прохождение диффузионных процессов при механическом легировании должно было привести к лучшей спекаемости порошков. Однако полученный результат был прямо противоположным. Наличие разбухания в механически легированных порошках, тем не менее, не лишает их перспективы для использования при производстве АКМ.

### **Перспективная технология получения гранулированных материалов с повышенными прочностными характеристикам**

Великов А.Ф.

Научный руководитель – Жаров М.В.

МАИ, г. Москва

Для каждого сплава и для каждого размера слитка существует предельная скорость кристаллизации, которая ограничена теплопроводностью сплава. Чем больше размер слитка, тем меньше для него предельная скорость кристаллизации. Например, для слитка из сплава Д16 диаметром 195 мм предельная скорость кристаллизации составляет 6,2 м/час, а для слитка диаметром 370 мм эта величина значительно ниже и равна 3,25 м/час. Высокая скорость кристаллизации металла увеличивает растворимость элементов переходной группы в алюминии, которая в несколько раз может превышать их предельную равновесную растворимость. Так при получении гранул при сильном измельчении структуры не растворимые в алюминии и не склонные к значительному пересыщению элементы такие как железо, кобальт, свинец, олово и др. будут присутствовать в сплаве в виде мелкодисперсных включений. При этом отрицательное их влияние на пластичность сплава будет значительно снижено, и существенно возрастет их положительная роль как специальных добавок. На основе влияния всех вышеперечисленных аспектов и была создана технология гранулирования, включающая в себя ряд операций: расплавление материала или создание расплава заданной конфигурации, получение гранул, подготовку гранул к прессованию, нагрев гранул и последующее прессование

(экструдирование) гранул в полуфабрикат. Наиболее важной с точки зрения повышения свойств и качества гранулированного материала (за счет измельчения литой структуры гранул и создания пересыщенных твердых растворов с повышенным содержанием переходных элементов) является операция получения гранул. Гранулы могут быть получены различными способами: механическим измельчением, разбрызгиванием жидкого металла под действием центробежных сил (центробежный способ), литьем через отверстия в дне стационарно установленного тигля (капельный способ), литьем через отверстия в дне вибрирующего в вертикальном направлении тигля. Исходя из возможности получения высокой скорости кристаллизации, простоты устройств и технологии производства, широкое распространение нашел центробежный способ литья гранул. Способ заключается в том, что внутрь вращающегося тигля-разбрызгивателя заливают расплавленный металл, который под действием центробежных сил разбивается на капли, которые выбрасываются через отверстия в цилиндрических стенках тигля в охлаждающую жидкость (воду). Важно, что при данном способе отливки гранул охлаждение капель, осуществляющееся в воде, обеспечивает достижение весьма высокой скорости охлаждения капель расплава, которая для гранул диаметром 2 мм составляет до  $10000^0$  С в секунду. Применительно к сплавам системы Al-Zn-Mg-Cu структура гранул, получаемых данным способом, резко измельчена по сравнению со структурой слитка того же состава. Известно, что присутствие в высокопрочных сплавах хрома, марганца, циркония благоприятно влияет на комплекс механических свойств полуфабрикатов. Оно повышает температуру рекристаллизации сплава, что способствует сохранению прессэффекта после закалки полуфабрикатов. Высокие скорости кристаллизации при литье гранул позволяют получать пересыщенные твердые растворы. При содержании циркония в сплаве в количестве 0,4 - 0,8% первичные циркониесодержащие интерметаллиды в структуре гранул отсутствуют. Цирконий в этом случае находится в пересыщенном твердом растворе. При нагреве перед горячей обработкой и в процессе пластической деформации пересыщенный твердый раствор распадается с выделением циркониесодержащих фаз, вызывающих искажения кристаллической решетки. На определенной стадии распада эффект упрочнения достигает максимального значения.

### **Сепарация порошковых материалов на наклонном жёлобе**

Виноградов Р.Е., Орлов А.А.

Научный руководитель – Шляпин С.Д.

МАИ, г. Москва

Авторами предложена лабораторная установка для разбиения смесей порошковых материалов и металлических волокон на отдельные фракции с учетом 3 законов трения (качения, скольжения, покоя).

Описание установки: металлический полированный желоб установлен в подшипники. Подшипники закреплены на стойках, выполненных из стального профиля, при этом внешней обойме подшипников обеспечен незначительный люфт для смены наклона желоба. К стойкам приварены стальные штоки диаметром 14мм для установки в струбцины оптической скамьи. На желобе

жестко закреплен физический маятник, выполненный в виде массивной растяжки, изменяемой длины. Для сбора остатков сыпучей среды предусмотрен ящик. Порции сыпучей среды в начале опыта помещают в конце желоба.

Данная установка позволяет разделять смеси сыпучих материалов на отдельные фракции. В испытуемой смеси использовались титановые шарики марки ВТ-22. В массиве титановых шариков этой марки присутствуют шарики с диаметрами приблизительно от 100 до 500 микрон. Попробуем разделить титановые шарики по крупности с учетом того, что сила трения качения шариков большего диаметра меньше чем у шариков меньшего диаметра.

В исходном положении желоб установлен горизонтально. На желоб высыпают небольшую порцию сыпучего материала (смесь титановых шариков). Задают желобу незначительный наклон, на установке он направлен в сторону маятника. Угол наклона таков, что сила трения покоя смеси достаточна, чтобы шарики и стружки не пришли в движение по наклоненному желобу. Далее отклоняют маятник и задают колебательное движение системе маятник-желоб. Массив частиц смеси двигается от одного края желоба, при этом наглядно видно, как шарики титана разного диаметра катятся по поверхности желоба с разной скоростью под действием сил трения скольжения и качения соответственно.

Получаем две фракции титановых шариков. Фракция шариков нижнего конца желоба практически не содержит шариков наименьшей крупности. Фракция остатка шариков представляет массив шариков приблизительно равных по крупности. Следует отметить, что наклон желоба и длину физического маятника подбирают опытным путем для получения оптимального разделения смесей сыпучих материалов на фракции.

Обычно при построении механизмов стремятся уменьшить силы трения различными способами. Данный эксперимент показал, каким образом различные силы трения можно использовать для получения положительного эффекта. Предлагаемая лабораторная установка может оказаться полезной при разделении смесей порошковых материалов на фракции как в лабораторных условиях, так и в промышленном масштабе.

## **Компьютерный анализ и совершенствование технологии штамповки диска турбины из никелевого сплава**

Волкова Е.А.

Научный руководитель – Овчинников А.В.

МАИ, Ступинский филиал

Надёжность наиболее тяжело нагруженных деталей турбореактивного двигателя – дисков турбины определяется совершенством технологии их производства. Одним из недостатков большинства технологических процессов штамповки дисков является неравномерное распределение накопленной деформации, как по объёму поковки, так и по объёму чистой детали. Это обусловлено принципиальным отличием простой формы заготовки от сложной формы поковки. Различие степени деформированности областей поковки приводит к неравномерности формирующейся микроструктуры и механических

свойств, снижает ресурс работы диска. Особенно велик риск этого при штамповке поковок дисков из литых заготовок

В работе исследована возможность повышения равномерности распределения накопленной деформации по объёму поковки без увеличения числа технологических переходов штамповки. В качестве объекта выбрана технология штамповки на гидравлическом прессе диска турбины из никелевого сплава ЭП742. В качестве инструмента исследования использовали отечественную САЕ - систему моделирования процессов пластической деформации QForm.

При моделировании действующей технологии штамповки неравномерность накопленной деформации (НД) в пределах контура чистовой детали достигает значительного уровня: в середине полотна диска – область с разбросом 0,6 - 3,4 логарифмической деформации и две области с умеренной деформированностью в верхней (1,1) и нижней (1,06) части обода диска. В области образца под механические испытания НД составляет 1,1 и примерно соответствует средней НД в пределах обточенной заготовки. Компьютерный анализ переходов действующей технологии с применением координатной лагранжевой сетки показывает, что две слабдеформированные зоны в середине полотна диска наследованы от осажённой заготовки. Их формирование начинается уже на первой осадке вследствие действия сил контактного трения, препятствующего течению металла от центра к периферии.

Для уменьшения неравномерности НД на этапе первой осадки вместо плоских бойков предложено использование фасонной площадки. Для устойчивого размещения исходной заготовки выступы выполнены в верхнем, а впадины – в нижнем бойке. Конфигурацию выступов и впадин определяли исходя из локального деформирования необходимых зон заготовки. Для получения более равномерного распределения НД заготовку дополнительно кантовали между первой и второй осадками. В результате НД в середине полотна диска уложилась в интервал 0,8 - 2,6; в верхней части обода диска – 1,3, нижней – 1,4; в образце – 1,2.

Исследуемая поковка диска имеет небольшую асимметрию относительно поверхности разъёма, что позволило использовать кантовку осажённой заготовки перед первой штамповкой для дополнительного выравнивания НД. Кроме того, в процессе исследований было установлено, что отказ от плоских горизонтальных участков на выступах фасонной площадки для осадки в пользу полностью скруглённых так же исключает сильную локализацию деформации. В результате было получено итоговое распределение НД в поковке: середина полотна диска 1,9 - 2,7; верхняя часть обода диска 1,7; нижняя - 1,0; образец – 1,2.

Таким образом, применение фасонной площадки для осадки и дополнительных кантовок заготовки обеспечивает существенное выравнивание НД по объёму обточенной поковки и улучшает прогноз равномерности распределения механических свойств.

## Особенности конструирования металлических связок алмазного камнеобрабатывающего инструмента

Ядгарова В.И., Сарухян М.Г., Сатарин И.А.<sup>1</sup>

Научный руководитель – Ягудин Т.Г.

МАИ, г. Москва, <sup>1</sup>МКОУ СОШ №2 г. Южа

Изучение разрушение камня под воздействием алмазов имеет первостепенное значение для конструирования алмазного инструмента. При резании камня происходят различные физико-механические процессы, которые определяют необходимую прочность связки и алмазов при обработке камня различной прочности, необходимое распределение и концентрацию алмазов в связке. Для выявления этих процессов необходимо рассмотреть общую принципиальную схему работы алмазного зерна при резании камня

Из теории измерения твёрдости камня известно, что критическое напряжение камня на растяжение  $\sigma_{\text{раст}}$  значительно ниже, чем на сжатие  $\sigma_{\text{сж}}$ .

$$\sigma_{\text{раст}} \ll \sigma_{\text{сж}} (1)$$

Поэтому при вдавливании алмазного зерна в рабочую зону прилегающие к алмазу слои камня деформируются, причём в непосредственной близости от алмаза пластически, а далее упруго. При снятии нагрузки упруго сжатая зона восстанавливается и в ней образуется трещина.

Природный камень как объект для обработки распределяется по нескольким категориям, в частности по пилимости. Были определены оптимальные соотношения между компонентами АКМ (алмазосодержащего композиционного материала) для распиловки природного камня при упругой и жёсткой подаче. Установлено, что при упругой подаче (с постоянной силой обработки) оптимальной концентрацией алмазов в АКМ является 5%-6% по объёму алмазосодержащего слоя. При жёсткой подаче, когда задаётся постоянная подача на алмазный круг, оптимальной является концентрация алмазов 12,5%-20% по объёму АКМ. Эти соотношения при обработке природного камня всех категорий прочности.

Вместе с тем замечено, что производительность работы алмазного инструмента зависит ещё от соотношения качества алмазного порошка (твёрдости, прочности). Установлено, что коэффициент обрабатываемости природного камня  $K$  коррелируется с комплексным показателем прочности АКМ. Выведенная формула этой зависимости имеет вид:

$$K = m \sqrt{\delta_{\text{изг}} T n} \quad (2)$$

при  $\delta_{\text{изг}}/K = \text{const}$ , где:

$\delta_{\text{изг}}$  – прочность связки на изгиб;

$T$  – твёрдость алмазного порошка;

$n$  – концентрация алмаза;

$m$  – коэффициент пропорциональности.

Из этого видно, что открываются пути совершенствования характеристик АКМ.

Так как в настоящее время алмазный порошок выпускается в широком диапазоне твердостей (она определяется по ГОСТ 9206 по величине силы разрушающей алмаз) от 6Н до 200Н и учитывая возможности по увеличению

твёрдости алмазов (легированием или металлизацией) появилась возможность, варьируя  $\delta_{изз}$  матрицы, достичь наивысшей производительности алмазного инструмента.

## **Изучение фазового состава порошкового интерметаллида Nb<sub>3</sub>Al после спекания**

Юдин С.Н.

Научный руководитель – Касимцев А.В.

ТулГУ, г. Тула

Интерметаллид Nb<sub>3</sub>Al типа А15 является одним из трёх алюминидов, формирующихся в двойной системе Nb-Al. Данное соединение отличается высокой температурой плавления (2333 °К) и относительно низкой плотностью, равной 7,29 г/см<sup>3</sup>. Nb<sub>3</sub>Al и сплавы на его рассматриваются в качестве нового жаропрочного материала с предельной рабочей температурой до 1860 °К.

Целью данной работы было исследование фазового состава компактных образцов Nb<sub>3</sub>Al после спекания. Поскольку алюминий является элементом с низкой  $T_{пл}$  и большой упругостью пара, то можно ожидать, что он начнёт испаряться в процессе спекания в вакууме.

Гидридно-кальциевым методом был получен мелкодисперсный порошок соединения Nb<sub>3</sub>Al с содержанием основной фазы 100 %. Для изготовления компактных образцов использовали следующие методы порошковой металлургии: гидростатическое прессование (180 МПа) + вакуумное спекание при различных температурах 1693 и 2183 °К, остаточное давление составляло 10<sup>-4</sup> – 10<sup>-5</sup> мм. рт. ст.; искровое плазменное спекание (ИПС) при 1823 °К и внешнем давлении 50 МПа, скорость нагрев составляла 12 °К/мин, остаточное давление – 10<sup>-1</sup> мм. рт. ст. После консолидации образец, полученный по схеме прессование + спекание, представлял собой брусок квадратного сечения длиной 120 мм со стороной 20 мм, искровым плазменным спеканием – цилиндр высотой 12 мм и диаметром 20 мм. Образчики для исследования фазового состава вырезали с отступом 4 мм от поверхности исходного компактного образца.

Высокая температура вакуумного спекания (2183 °К) связана с большой температурной плавления соединения и составляет 0,93 от  $T_{пл}$  Nb<sub>3</sub>Al. Уменьшение температуры спекания до 1823 °К при ИПС обусловлено наличием внешнего давления (50 МПа).

Экспериментальное исследование показало, что относительно гомогенного порошка Nb<sub>3</sub>Al фазовый состав в процессе спекания изменяется. Ниже показано это изменение (таблица).

Таблица – Фазовый состав компактных образцов из порошка Nb<sub>3</sub>Al после различных режимов консолидации (процент по массе)

Исходный порошок Nb <sub>3</sub> Al	Вакуумное спекание		ИПС
	1693 °К	2183 °К	1823 °К
100 % Nb <sub>3</sub> Al	95 %Nb <sub>3</sub> Al + 5 % Nb	80 %Nb <sub>3</sub> Al + 20 % Nb	90 %Nb <sub>3</sub> Al + 10 % Nb

Рентгенофазовым анализом во всех образцах зафиксировано появление твёрдого раствора на основе ниобия, причём его количество растёт с

увеличением температуры спекания. Этот факт необходимо учитывать при производстве изделий из интерметаллида  $Nb_3Al$  методами порошковой металлургии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №16-33-50018 мол\_нр).

### **Влияние термоводородной обработки на механические свойства пористого материала из проволоки титанового сплава ВТ1-0**

Зайнетдинова Г.Т., Рунова Ю.Э.

Научный руководитель – Коллеров М.Ю.

МАИ, г. Москва

В работе исследована возможность повышения механических характеристик пористого материала (ПМ) из проволоки титана методом термоводородной обработки (ТВО).

В качестве исходного сырья для изготовления ПМ использовали проволоку из сплава ВТ1-00 диаметром 0,2-1,2 мм. Из проволоки изготавливали пористые образцы в виде цилиндров и полотна. Заготовки, полученные различными методами, спекали под нагрузкой, обеспечивающей давление 0,1-5 МПа, при температурах 800°-960°С.

Механические испытания на сдвиг осуществляли путем определения силы разрушения соединения проволоки сплава ВТ1-00 диаметром 1,2 мм при протаскивании крестообразного образца через матрицу с отверстием диаметром 3 мм. В некоторых случаях при нагружении происходил разрыв одной из проволок вблизи границы их контакта. Исследования свойств спеченных заготовок показали, что формирование физического контакта между проволоками происходит при температурах выше 900°С. При более низких температурах спекания (820°С) контакты носят механический характер, а усилие разрушения соединения не превышает 60 Н. Прочность контактов возрастает по мере увеличения температуры спекания в  $\beta$ -области за счет увеличения доли физического контакта и достигает 250 Н после спекания при 920°С. Для повышения прочности контактов и всего ПМ была применена ТВО, которая позволила существенно повысить усилия разрушения образцов (до 340 Н), которое во многих случаях происходило не по зоне контакта, а по основному материалу.

Для проверки эффективности применения ТВО образцов медицинских изделий на основе пористого материала из проволоки сплава ВТ1-00 был проведен эксперимент, в котором эндопротез тела позвонка испытывался на срез. Используя интегрирование по нагрузке всех усилий разрушения контактов, можно говорить об увеличении энергии разрушения образца, прошедшего ТВО в 4,5 раза по сравнению с образцом без ТВО.

Таким образом, использование термоводородной обработки позволяет существенно увеличить прочность спеченных пористых материалов из сплавов на основе титана. Применение ТВО позволяет не только снизить температуру, но и давление при спекании. Это обеспечивает получение более прочного ПМ с высокой объемной пористостью (80-90%).

## **СЕКЦИЯ № 47. Полимерные и углеродные композиционные материалы, аэрокосмические конструкции и микросистемы**

Руководитель секции: д.т.н., профессор Бабаевский П.Г.

---

### **Выбор состава ПКМ с эффектом памяти форм и разработка двухсекционного актюатора на их основе**

Акзигитов В.А.

Научный руководитель – Агапов И.Г.

МАИ, г. Москва

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) с эффектом памяти формы (ЭПФ) на основе различных армирующих волокон (тканей) являются перспективными при создании трансформируемых космических конструкций различного назначения, в частности актюаторов разворачивания панелей солнечных батарей, параболических антенн, миниспутников.

Плоские, трубчатые, полуцилиндрические и другие актюаторы из ПКМ с ЭПФ позволяет компактно укладывать крупногабаритные конструкции с целью удобства доставки их к месту эксплуатации с последующим разворачиванием для придания им заданных размеров и формы.

Эффект памяти формы в полимерных композиционных материалах обеспечивается обратимыми высокоэластическими деформациями полимерной матрицы и упругостью армирующих волокон. При этом важное значение имеют плетение и механические характеристики армирующей ткани, а также объемная доля армирующих волокон в ПКМ, которые в значительной степени определяют важнейшие характеристики ЭПФ - способность к предварительной деформации, время, степень и усилие восстановления формы.

Целью данной работы являлось разработка и исследование листовых ПКМ с ЭПФ на основе углеродных, стеклянных и арамидных волокон и двухсекционного актюатора со встроенным резистивным нагревателем.

Объектами исследования служили плоские листы ПКМ на основе углеродной (УРАЛ Т-1-22а), стеклянной (Т-10-ВМП-4с), арамидной (ТУ-8378) тканей и полиуретан-эпоксидного связующего, полученные методом прессования препрегов между плоскими нагреваемыми плитами.

Определяли деформационно-прочностные свойства ПКМ с использованием образцов в виде пластин размерами 100\*12\*2 мм методом испытания плоских образцов на растяжение при нормальной температуре (ГОСТ 25.601 – 80), для этого использовали универсальную испытательную машину Instron. Время и степень восстановления формы определяли методом контролирования геометрии образцов в процессе восстановления ими формы.

Наилучшие результаты показал углепластик, на основе которого были получены прессованием в пресс форме полуцилиндры для изготовления актюатора.

## **Метод 3D прототипирования при изготовлении модулей лунных и марсианских поселений**

Акимов А.В., Зарипов И.Р., Смолкин Р.М.

Научный руководитель – Байгалиев Б.Е.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

В работе представлен способ производства модулей для лунных и марсианских поселений методом 3D прототипирования. В современном мире широкое распространение получает технология производства домов методом 3D прототипирования. Точно такая же технология будет использоваться при производстве модулей для лунных и марсианских поселений.

Предлагается технология производства модулей методом 3D прототипирования на 3D принтере (Shanghai Win Sun Decoration Design Engineering Co). Принтер имеет габаритные размеры 150 м (длина) x10 м (ширина) x6,6 м (высота). Изготавливаемые модули имеют площадь 200 м<sup>2</sup> и высоту до 6 метров. Производство модуля начинается с изготовления боковых стен, пола и крыши. Экструдером бетон насаивается до достижения заданной толщины. Следующим шагом, модуль переворачивают на 90 градусов. Далее, устанавливаются окна и двери вместо задней и передней стенки.

Недостатки предложенных способов и технологий строительства модулей для лунных и марсианских поселений методом 3D прототипирования: возможность производства только бетонных компонентов конструкций модулей; потребность в подаче заранее подготовленного бетона; отсутствие возможности производства строительной смеси непосредственно в самом аппарате 3D принтера; немобильность производства; производство только в специально оборудованном помещении; необходимость в поддержании постоянных заданных температур и влажности; недостаточная прочность конструкции; изготовление только двух стен модуля.

Строительство методом 3D прототипирования – это новая перспективная технология. Данное техническое нововведение не применяется на территории РФ. Технология 3D прототипирования может заменить существующие технологии. В данной статье предлагается несколько способов изготовления модулей на 3D принтере:

- Модуль изготавливается полностью из бетона, за исключением потолка, пола и крыши, которые изготавливаются из железобетона. При такой компоновке плита пола устанавливается на 8 стоек-столбиков, что исключает необходимость в фундаменте. Места под двери, окна и трубы намечаются. Необходимо 2 головки 3D принтера – под металл и под бетон.
- Заготавливается файл 3D принтера, по которому из железобетона изготавливается пол, потолок и крыша, а стены производятся из бетона, но с заранее запланированными отверстиями под двери, окна и трубы. Необходимо 2 головки 3D принтера – под металл и под бетон.
- Изготавливается модуль, в котором отверстия изначально заполняются дверью и окнами из плексигласа. Для этого нужно 3 головки для 3D принтера – под металл, под бетон и под полимер.

Производство модулей начинается с изготовления пола конструкции. Возможны два возможных варианта изготовления пола, обеспечивающего достаточную прочность конструкции:

- Принтер поочередно наносит слой бетонной смеси и слой порошкообразного металла, который сплавляется в единый каркас конструкции.
- Принтер наносит слой бетонной смеси, после чего укладывается слой металлических прутьев, которые спаиваются между собой лазером, устроенным в конструкцию 3D принтера. После чего наносится следующий слой бетонной смеси и процесс повторяется до достижения необходимой толщины пола модуля.

Далее возводятся стены модуля из бетона посредством последовательного нанесения слоев бетона заданной толщины.

Преимущества

- Подача строительной смеси непосредственно из самого аппарата 3D принтера на печатающую головку.
- Цельность конструкции, не состоящая из составных деталей и не требующая затрат на процесс сборки
- Достаточная прочность конструкции
- Высокая мобильность 3D принтера, необходимого для строительства.
- Возможность одновременного печатания как бетонных и железобетонных элементов конструкции, так и полимерных элементов.

### **Использование полимерных материалов в холодильном оборудовании**

Акимов А.В., Кошелев Д.В., Фатхиева Р.А.

Научный руководитель – Байгалиев Б.Е.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

Бытовые (домашние) холодильники, холодильники-морозильники и морозильники служат последним звеном непрерывной холодильной цепи. Холодильники обеспечивают хранение пищевых продуктов в охлажденном и замороженном состоянии, а морозильники – замораживание и хранение в замороженном состоянии пищевых продуктов при температуре не выше  $-12... -18$  °С в домашних условиях до момента потребления.

Холодильники и морозильники довольно быстро совершенствуются. Улучшаются технико-экономические показатели, увеличивается число выполняемых функций, повышаются уровни автоматизации и комфортности, улучшается внешнее оформление.

Целью наших исследований является рассмотрение возможности использования полиэтилена высокого давления (ПВД) в качестве материала, из которого будет изготовлена морозильная камера с целью уменьшения веса и энергозатрат. ПВД достаточно прочен при низких температурах. ПВД не выделяет токсичные вещества в окружающую среду, безопасен для организма человека при непосредственном с ним контакте. Полимерные материалы имеют высокую технологичность, поскольку при переработке в готовые изделия

отличаются малой операционностью и низкой энергоемкостью: по сравнению с алюминиевыми сплавами - в 5 раз, со сталью - в 3 раза.

Для корпусов морозильной камеры используют материалы с высоким коэффициентом теплопроводности. Как правило, в основном это алюминий.

Морозильная камера изготовлена из алюминия плотностью  $\rho_{Al}$ . Она состоит из двух корпусов, внешнего и внутреннего. Полость между корпусами изолирована и в ней протекает теплоноситель. Толщины корпусов принимают равными  $\delta_1 = \delta_2 = \delta$ ,  $\delta_1$ -толщина стенки внешнего корпуса,  $\delta_2$ - толщина стенки внутреннего корпуса.

Нами была изучена морозильная камера холодильника. Зная геометрические характеристики морозильной камеры, мы рассчитали на сколько уменьшится вес морозильной камеры.

Таким образом, предлагаемый способ изготовления морозильной камеры холодильного агрегата из полимерных материалов позволяет снизить себестоимость продукции, снизить энергозатраты в процессе изготовления и эксплуатации холодильного оборудования.

### **Отверждение эпоксидных олигомеров эвтектическими смесями ароматических аминов**

Алчин Р.М., Карамова А.И., Шубин Т.К.

Научный руководитель – Амирова Л.М.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

Многоцелевое применение эпоксидных смол и теплостойких связующих на их основе делает работу по созданию для них отверждающих систем особенно актуальной. В качестве отвердителей наиболее оптимально применение ароматических аминов, но они являются твердыми кристаллами, плавящимися при температурах выше 70°C, и трудно растворяются в эпоксидных олигомерах. Поэтому важно снизить температуру плавления и улучшить растворимость отверждающей системы. Этого можно достичь, если использовать эвтектические смеси различных ароматических аминов и других соединений. К сожалению, по данному вопросу имеется мало информации.

Цель работы заключалась в получении фазовых диаграмм двойных систем на основе ароматических аминов, исследование растворимости таких систем в эпоксидных олигомерах, изучение процесса отверждения эпоксидных олигомеров эвтектическими смесями, а также определение температур стеклования полученных полимеров.

Для исследования были взяты следующие ароматические амины: 4,4'-диаминодифенилметан, 4,4'-диаминодифенилсульфон, 4,4'-диаминодифенилоксид, орто, пара, и мета-фенилендиамины. В качестве эпоксидного олигомера использовались эпоксиноволачные смолы: NPPN-631, NPPN-638.

Исследования выполнялись на дифференциальном сканирующем калориметре DSC 204F1 Phoenix (Netzsch, Германия). Вязкость и жизнеспособность композиций определяли на реометре HAAKE RheoStress RS6000. Степень конверсии эпоксидных групп находили с помощью ИК-спектроскопии на приборе TENSOR 27 с фурье-преобразованием. Температуры

стеклования определяли с использованием динамического механического анализатора DMA Q800.

По ДСК-кривым смесей ароматических аминов были построены фазовые диаграммы двойных систем, определены составы эвтектических смесей и получены соответствующие им температуры плавления. Используя эвтектические составы, проведено отверждение эпоксидных олигомеров и оптимизированы температурно-временные режимы отверждения. Выявлены закономерности влияния состава отвердителя на температуру отверждения. Изучены теплофизические свойства эпоксидных полимеров, получены теплостойкие связующие для композитов на основе эвтектических составов ароматических аминов.

## **Термохимия ингибитора коррозии ИФХАН 112**

Ануфриенко Е.П.

Научный руководитель – Щербина А.А.

ИФХЭ РАН им. А.Н. Фрумкина, г. Москва

В промышленно развитых странах коррозия металлов и металлоконструкций наносит существенный ущерб экономике государства. В настоящее время существует множество подходов для решения этой проблемы. Наиболее актуальным подходом является введение ингибитора в пленочный материал, который в дальнейшем используется как упаковка для защищаемых изделий. Однако испарение ингибитора в этом случае идет как внутрь упаковки, так и во внешнее пространство, что снижает концентрацию ингибитора внутри пакета, и, кроме того, отрицательно сказывается на экологии. Поэтому с нашей точки зрения актуальной задачей является разработка многослойного пленочного покрытия, где один из слоев содержит ингибитор, а другой играет роль защитного покрытия.

По этому, целью данной работы является изучение термохимических свойств ингибитора коррозии (ИФХАН 112) и его компонентов. Исследования имеют принципиальное значение для дальнейшего понимания процессов диффузии и растворимости ингибитора в полимерах.

В качестве объектов исследования выступал ингибитор коррозии ИФХАН 112 и его компоненты (№1 и №2).

Термохимическое поведение объектов исследования изучали методом дифференциально сканирующей калориметрии (ДСК) на приборе - NETZSCH DSC 204F1 Phoenix. Скорость сканирования составляла 10 К/мин. Общая потеря массы в процессе нагревания образцов оценивалась методом термогравиметрия (ТГ) на приборе- NETZSCH TG 209F1 Iris. Скорость нагрева составляла 10 К/мин.

Было показано, что ингибитор ИФХАН 112 состоит как минимум из двух кристаллизирующихся веществ, с достаточно близкими температурами плавления. При прогреве наблюдаются два близких пика плавления и два пика рекристаллизации в диапазоне от 80 до 100 °С. Интересно отметить, что при охлаждении смесь не кристаллизуется, что говорит о том, что система находится в метастабильном состоянии



антиокислительными покрытиями состава  $xY_2O_3-yAl_2O_3-zSiO_2$  превосходят по прочности при растяжении в 1,5 раза волокна SiC без покрытий [3].

Для оценки характера окисления при 1600 °С карбидокремниевых волокон с покрытиями и без покрытий был проведен точечный рентгеновский элементный микроанализ от периферии к центру термообработанного волокна. В результате было установлено, что полученные защитные стеклокерамические покрытия снижают диффузию кислорода в волокно карбида кремния более чем в 2 – 3 раза во время высокотемпературного окисления и предотвращают деструкцию волокна SiC.

#### **Список литературы**

1. Пат. РФ 2535537 С1 от 15.10.2014. Стеклокерамическое покрытие на основе органоиттриоксаналюмоксансилоксанов и способ его получения /Г.И. Щербакова, Т.Л. Мовчан, Н.С. Кривцова, М.С. Варфоломеев, Д.В. Жигалов, Д.В. Сидоров, П.А. Стороженко, А.И. Драчев. -№ 2013137183/03 заявл. 08.08.2013. Оpubл. 20.12.2014. Бюл. № 35.

2. Щербакова Г.И., Апухтина Т.Л., Варфоломеев М.С., Сидоров Д.В., Драчев А.И., Юрков Г.Ю. Стеклокерамические покрытия на основе органоиттриоксаналюмоксансилоксанов // Неорганические материалы. 2014. Т.50. №6. С.686–691.

3. Апухтина Т.Л., Щербакова Г.И., Сидоров Д.В., Варфоломеев М.С., Сидоров Д.Г., Драчев А.И. Армирующие волокна карбида кремния с защитными стеклокерамическими покрытиями // Неорганические материалы. 2015. Т.51. №8. С.877–88.

### **Глинонаполненные полимерные композиционные материалы на основе полипропилена**

Балькаев Д.А.<sup>1,2</sup>, Беззаметнов О.Н.<sup>1,2</sup>, Скрябнев Г.В.<sup>1</sup>

Научный руководитель – Амирова Л.М.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

<sup>2</sup> К(П)ФУ, г. Казань

Термопласты и пластики на их основе получили широчайшее применение в различных областях. В то же время, недостаточная охарактеризованность свойств исходных полимеров зачастую не позволяет выбрать наиболее подходящие марки и/или режимы их переработки, а также провести оптимальные модификацию или наполнение.

В докладе представлены результаты исследования реологических, физико-механических и теплофизических свойств ряда марок полимеров на основе пропилен, охарактеризованы технологические режимы получения и свойства наполненных композиций.

В работе использовали: блок-сополимер пропилен и этилена марки: PP8300N. В качестве наполнителя использовали цеолит-содержащую породу различной дисперсности, а также обработанную совмещающим агентом.

Смешение и грануляцию компонентов дисперсно-упрочненных композитов проводили в двухшнековом экструдере ScientificLTE 20-44.

Реологические испытания проводили на ротационном реометре DiscoveryHybridRheometerDHR2 (TAInstruments) с применением комплекса

программного обеспечения “Orchestrator software”, позволяющего анализировать молекулярную массу и молекулярно-массовое распределение. Молекулярно-массовые характеристики выбранных полимеров оценивали с использованием данных по стандартным образцам ПП с известными ММ и ММР.

Для оптимизации параметров литья использовали капиллярный реометр RosandRH2000 (Malvern).

Вязкость расплава полимеров и наполненных композиций (показатель текучести расплава, ПТР, 230 °С, 2.16 кг) измеряли на пластометре CEAST 7027. Ударную вязкость образцов определяли на маятниковом копре CEAST 9050 (IMPACTOR II) в соответствии с ГОСТ 19109-84.

Для всех образцов полимеров методом ДСК с термомодуляцией (калориметр 204F1 Phoenix (Netzsch, Германия)) были определены все теплофизические характеристики и переходы, степень кристалличности полимеров. Исследование влияния марки полипропилена, природы наполнителя и его содержания на скорость кристаллизации ПП при различных температурно-временных режимах охлаждения.

Для образцов исходных и наполненных полимеров на приборе DMA 242 E Artemis (Netzsch) в обычных условиях и при фотостарении (УФ-облучение) определяли величины модуля упругости при изгибе и растяжении, температурные переходы при изгибе, растяжении и пенетрации, ползучесть при различных режимах нагружения.

Приведены результаты определения некоторых эксплуатационных характеристик после климатического воздействия (с применением климатической камеры LG-XD110G (Hyde Science and Technology) с регулируемой температурой, влажностью и УФ-облучением с использованием ксенонной лампы). Низкотемпературную хрупкость полимерных образцов оценивали с использованием Тестера хрупкости фирмы Noselab ATS.

### **Влияние функционализованного эластомера на свойства полифениленсульфида**

Битт В.В., Горшкова Ю.С., Ермилова А.И.

Научный руководитель – Калугина Е.В.

ООО «Группа ПОЛИПЛАСТИК»

В последние десятилетия появилась тенденция к замене реактопластов для литьевых и экструзионных изделий функционального назначения на термопластичные материалы, обладающие большей технологичностью при переработке. Но для изделий специальной техники с температурой длительной эксплуатации выше 150°С замена может быть произведена только на термопластичные суперконструкционные пластики, к которым и относится полифениленсульфид (ПФС). Линейный ПФС имеет температуру плавления выше 300°С, модуль упругости до 3700 МПа, огнестоек, сохраняет химическую стабильность при 150 – 200°С, но высокая жесткость не позволяет производить изделия способные к изменению пространственной конфигурации. Кроме того, при переработке ПФС проявляет склонность к образованию разветвленных и сшитых структур, что требует дополнительной стабилизации.

Согласно научно-технической и патентной информации улучшение деформируемости и перерабатываемости ПФС возможно путем введения полимерных и олигомерных добавок.

В работе исследовали влияние функционализированного эластомера(ФЭ)

(ПТР<sub>190°C, 5 кг</sub> = 13 г/10мин) на свойства ряда марок ПФС, отличающихся молекулярной массой и разветвленностью (ПТР<sub>316°C, 5кг</sub> = 100±250 г/10 мин). В качестве антиоксиданта использовали ранее выбранную синергическую смесь стерически затрудненного фенола и фосфита.

Смеси на основе ПФС с содержанием ФЭ от 10 до 30% изготавливали на лабораторном двухшнековом экструдере Process11 ф. Thermo, Германия. Реологические исследования проводили на ротационном вискозиметре, механические испытания – на испытательной разрывной машине Z050 ф. Zwick/Roell (Германия).

При экструдировании композиций обнаружено, что при увеличении содержания ФЭ более 25%возникает неравномерность стренг, расслоение, пульсация расплава, а скорость охлаждения стренг влияет на процесс кристаллизации материала.

Исследование реологических свойств расплавов композиций показало, что кривые течения (Т = 290°C) имеют схожий характер (n = от 0,32 до 0,58), вязкость расплава в диапазоне скоростей сдвига от  $1 \cdot 10^{-1}$  до  $6 \cdot 10^2 \text{ с}^{-1}$  монотонно повышается при увеличении концентрации ФЭ.

Модификация практически не оказывает влияния на величину прочности при растяжении ПФС. Отмечено повышение деформируемости: относительное удлинение при разрыве увеличивается от 26% для базового ПФС до 60% для ПФС с добавкой 25% ФЭ. Модуль упругости снижается при увеличении содержания ФЭ от 10 до 25 % с  $(3,0 \div 2,7)10^3$  до  $(2,2 \div 2,1)10^3$  МПа.

Полученные результаты показали, что композиция ПФС с оптимальным содержанием ФЭ – 20% имеет хорошую перерабатываемость, высокие механические характеристики, термостабильность расплава и возможность обратимо изменять пространственную конфигурацию изделий при монтаже.

### **Методический подход при исследовании влияния тепловлажностного воздействия на свойства термостойких углепластиков**

Валевин Е.О.<sup>1,2</sup>

Научный руководитель – Бухаров С.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГУП «ВИАМ»; <sup>2</sup>МАИ, г. Москва

Одним из важных условий эксплуатационной надежности конструктивных элементов из полимерных композиционных материалов (ПКМ) является стабильность показателей упруго-прочностных свойств материалов в условиях воздействия климатических факторов в течение всего заданного срока службы.

Наиболее значимыми факторами климата, влияющих на свойства ПКМ в процессе хранения и эксплуатации изделий из них, являются влажность и повышенная температура. Лабораторные тепловлажностные испытания занимают существенно меньшее время по сравнению с натурными испытаниями, т.к. проводятся, как правило, на форсированных режимах при

совместном воздействии повышенной температуры и влажности. Такие испытания позволяют уже на этапе разработки связующих и ПКМ на их основе подобрать оптимальные рецептуры и компоненты материалов, провести сравнительные испытания различных партий материалов и отработку технологических режимов изготовления изделий. Исследование особенностей влагопоглощения полимерных матриц и ПКМ различных классов в лабораторных условиях позволяет оценить влияние климатических факторов на структуру материала, релаксационные превращения и возможные деструктивные процессы и приводящие к ухудшению физико-механических свойств. Особенно данный подход актуален для исследования конструкционных ПКМ с высокими рабочими температурами. Результаты испытаний также могут быть использованы для сравнительной оценки климатической стойкости материалов, технологий, конструктивных решений изделий и узлов с применением ПКМ.

По предложенному в работе комплексному методическому подходу проведены исследования влияния повышенной температуры и влажности на изменение свойств отвержденного термостойкого фталонитрильного связующего и углепластиков на его основе. В качестве объектов исследования рассмотрены образцы перспективного отвержденного фталонитрильного связующего ВСН-31 (ФГУП «ВИАМ») и углепластиков на его основе с наполнителями из равнопрочной ткани (ВКУ-38ТР) и жгута (ВКУ-38ЖН).

В ходе проведенных исследований было установлено, что углепластики на основе термостойкой фталонитрильной матрицы являются стойкими к совместному воздействию повышенной температуры и влажности, о чем свидетельствуют незначительные изменения механических свойств и релаксационного поведения после воздействия факторов в совокупности с низкими значениями водо- и влагопоглощения (от 0,6% до 1,1%).

### **Теплофизические свойства наполненных алюминием фторопластовых композитов, полученных ударно-волновой обработкой**

Видикер Д.Н., Савин Д.В.

Научные руководители – Адаменко Н.А., Казуров А.В.

ВолгГТУ, г. Волгоград

К перспективным антифрикционным материалам для авиационной и аэрокосмической промышленности относятся наполненные (от 10 до 40 % об.) алюминий-фторопластовые композиты, в которых металл играет упрочняющую роль, а полимер обеспечивает эффект самосмазываемости. Ударно-волновая обработка (УВО) является эффективным способом получения наполненных металлофторопластовых композиционных материалах (КМ), обеспечивающим одновременное прессование и консолидацию порошков.

В работе проводили сравнительные исследования влияния статического прессования (СП) и УВО на тепловое расширение и теплопроводность фторопластовых КМ с наполнением от 10 до 40 % порошком алюминия дисперсностью 14–150 мкм. При получении алюминий-фторопластовых композитов СП порошковых смесей осуществляли в прессформах давлением

200 МПа, УВО проводилось в цилиндрической стальной оболочке (ампуле) давлением в ударном фронте 400-600 МПа. Спекание композитов проводили в свободном состоянии при температуре 380 °С, с выдержкой 15 минут на один миллиметр толщины образца.

Тепловое расширение алюминий-фторопластовых композитов определяли на установке термомеханического ТМА 402 F3 Huregion - NETZSCH, основанной на простой форме dilatометрического анализа. Расчет среднего ТКOP проводили по стандартной формуле. Коэффициент теплопроводности ( $\lambda$ ) измерялся при комнатной температуре по стандартной методике на установке КИТ-02Ц «Теплофон».

Установлено, что во всем исследуемом концентрационном интервале (10-40 % Al) термический коэффициент объемного расширения (ТКОР) после УВО ниже, чем после СП: в 1,15-1,65 раза при температурах до 250-290 °С и в 1,25-2,45 раза при температурах 290-415 °С. При этом теплопроводность до 4 раз выше у образцов после УВО, чем после СП соответственно 1,4-8,1 Вт/м·К и 1,3-6,9 Вт/м·К.

Результаты теплофизических испытаний свидетельствуют, что при УВО алюминий-фторопластовых композитов обеспечивается более интенсивное взаимодействие частиц алюминия с образованием непрерывной армирующей металлической фазы (каркаса), а также повышенное адгезионное взаимодействие между полимером и металлом, что совокупности обеспечивает их более низкое тепловое расширение и более высокую теплопроводность.

В отличие от УВО после СП из-за низкого адгезионного взаимодействия между полимером и наполнителем макромолекулы совершают свободные тепловые колебания, происходят большие объемные изменения при плавлении кристаллической фазы Ф-4, практически не связанного дополнительным адгезионным взаимодействием с металлом, что приводит к повышенному тепловому расширению композитов. При этом между частицами алюминия наблюдается низкое взаимодействие и ограниченный контакт, преимущественно точечный, в результате между ними сохраняется повышенное тепловое сопротивление, где происходит значительное тепловое рассеивание, в результате теплопроводность композитов минимальна. Таким образом при УВО фторопластовых композитов протекают более выгодные структурные процессы, которые способствуют лучшим теплофизическим свойствам.

### **Ориентированные листы из полиметилметакрилата**

Воронцова И.А.

Научный руководитель – Власов С.В.

МТУ, г. Москва

Научные разработки в области ориентирования волокон, плёнок и листов проводятся многими ведущими учёными в области физики и механики полимеров.

В качестве основного способа получения одноосно ориентированных листов в работе был применён метод термовытяжки полимера при разных температурах, а так же постоянной скорости и разных степенях вытяжки, т.е. основных технологических параметрах вытяжки.

Объектом исследования являются листы из полиметилметакрилата, толщиной от 0,5 мм до 1 мм, которые были произведены ОАО «ДОС» (Дзержинское оргстекло Нижегородской области), с различной молекулярной массой (в диапазоне от 500.000 до 5.000.000). Образцы, представлены в виде пластин, размерами 100х30. Проводились испытания на теплостойкость по Вика, испытания на прочность при статическом изгибе, исследования разрывной прочности одноосноориентированных и неориентированных образцов, ориентационная вытяжка при разных температурах, титрометрический способ определения плотности ПММА. Приведенные исследования показали следующие результаты: температурный интервал соответствовал диапазону температур от  $T_{стек}$  и проходил через  $T_{разм}$ . Таким образом, температура ориентационной вытяжки была выбрана в диапазоне 120-140<sup>0</sup>С, а именно - 130<sup>0</sup>С. Это обусловлено тем, что, во-первых, при нагреве до этой температуры происходит компенсация остаточных напряжений релаксационными процессами, и, во-вторых, при этой температуре достигается optimum пластичности и податливости образца для его ориентационной вытяжки. Одноосную ориентационную вытяжку образцов ПММА осуществляли при температурах ~110<sup>0</sup>С; 130<sup>0</sup>С; 150<sup>0</sup>С; 170<sup>0</sup>С и скорости 1мм/с (0,16% в мин.) в интервале кратностей вытяжки от 1 до  $\lambda_{max}$  на разрывной машине с записью усилия деформирования (Р). Величина  $\lambda_{max}$  представляет собой значение кратности вытяжки перед разрушением образца. Температуру для ориентационной вытяжки образцов ПММА выбирали в области высокоэластического состояния полимера, что на 15-25<sup>0</sup>С выше температуры стеклования полимера ( $T_{ст} = 105^{\circ}\text{C}$ ). Экспериментально установлено, что образцы ПММА с кратностью вытяжки  $\lambda$  от 1,03 до 1,05 при извлечении из зажимов разрывной машины за время охлаждения до температуры 20<sup>0</sup>С полностью восстанавливают свои начальные размеры по длине (полная обратимая деформация), а начиная с  $\lambda \geq 1,05$  появляется остаточная деформация. С возрастанием степени вытяжки  $\lambda=1,2$  плотность полимера уменьшается, это связано с разрыхлением структуры. А далее степень вытяжки полимера увеличивается, это связано с изменением структуры полимера при его ориентировании.

### **Окрашенные дисперсно-наполненные эпоксидные связующие и полимерные композиционные материалы на их основе**

Гафиятуллина С.И., Ибатуллин И.М., Камалов А.Н.

Научный руководитель – Магсумова А.Ф.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

Исследования процессов окрашивания полимеров остаются актуальными на протяжении многих лет. К наиболее известным сферам применения полимеров, окрашенных дисперсным наполнителем, относятся производство лакокрасочных, строительных материалов, синтетических волокон, парфюмерной промышленности.

В силу особенностей композиционного производства, важно, чтобы окрашенное связующее удовлетворяло ряду свойств, то есть помимо приобретения цвета, очень важным является контроль за технологическими

свойствами наполненного связующего. В случае применения окрашенных связующих в качестве пропитывающих составов, наиболее важными технологическими свойствами являются реологические свойства.

Способ окрашивания полимеров введением в их состав различных дисперсных наполнителей известен достаточно давно и как показал литературный обзор этот вопрос не утратил своей актуальности. Между тем для терморезактивных композиций вопрос введения в их состав таких наполнителей, как технического углерода или шунгита, остается еще недостаточно развитым по сравнению с другими полимерами. Поэтому исследование окрашенных дисперсно-наполненных эпоксидных композиций весьма актуально. Оптимальное сочетание свойств дисперсно-наполненных терморезактивных связующих достигается соответствующим выбором типа наполнителя, его концентрации и правильным диспергированием.

Целью данной работы было достижение эффекта окрашивания эпоксидных связующих в интенсивный черный цвет путем введения в их состав технического углерода (сажи) и шунгита с незначительным повышением вязкости композиций. Из первоначально исследуемых марок технического углерода: К354 (гранулированный); печной техуглерод - П234, П701, П514 (гранулированный); термический техуглерод - Т900 (не гранулированный) (ГОСТ 7885-86), по достигнутым результатам по окрашиванию и степени изменения технологических свойств были выбраны две марки саж, отличающиеся способами получения, активностью, показателем дисперсности и структурности: П701 и Т900. В качестве наполнителя применялись два типа шунгита: мелкодисперсный и наноструктурированный. Степень наполнения эпоксидных составов варьировалась от 0,5 до 5%. Основой для наполнения являлась композиция, состоящая из низковязкой эпоксидной смолы - ЭД-22, отвердителя цис-гексагидрофталевого ангидрида ГГФА, а в качестве катализатора выступал 2-метилимидазол.

Реологические свойства окрашенных дисперсно-наполненных эпоксидных композиций при разных температурах изучали на ротационном динамическом реометре «Reostress» 6000 фирмы Haake при различных скоростях сдвига. При анализе данных по реологии окрашенных составов установлено, что с уменьшением среднего размера частиц сажи нарастает вязкость наполненных систем. В тоже время достижение эффекта окрашивания эпоксидных связующих в интенсивный черный цвет обратно пропорционально размеру частиц сажи.

Методом динамического механического анализа на приборе DMAQ800 фирмы TA Instruments было изучено влияние наполнителей на теплофизические и динамические механические свойства саженаполненных эпоксиполимеров.

Анализ полученных результатов для дисперсно наполненных систем позволил оптимизировать выбор типа наполнителя и его концентрацию.

## **Влияние типа армирования полимерных композитов с эффектом памяти на кинетику и степень восстановления их формы и размеров**

Гришин А.С.

Научный руководитель – Бабаевский П.Г.

МАИ, г. Москва

Использование интеллектуальных материалов в конструкциях и системах в аэрокосмической области имеет важное значение для ее развития. Одним из видов интеллектуальных материалов являются армированные полимерные композиционные материалы с эффектом памяти формы, которые можно использовать в составе трансформируемых конструкций или деталей.

Работа посвящена исследованию влияния типа армирования ПКМ на кинетику и степень восстановления и размеров формы сложенных по образующей оси трубчатых образцов ПКМ.

В качестве матрицы использовали эпоксидно-полиуретановую композицию, обеспечивающую в отвержденном состоянии эффект памяти формы ПКМ. Армирующими компонентами служили ткани на основе углеродных (ткань УРАЛ Т-1-22А), стеклянных (ткань Т-10 ВМП) и арамидных (ткань техническая марки ТУ-8378) волокон. Трубчатые образцы получали методом намотки пропитанных тканей на технологическую оснастку с последующим формованием под давлением при температуре складывания образцов и отверждения связующего. Для активации эффекта восстановления формы и размеров использовали внутренний резистивный нагрев с помощью нихромовой нити Х20Н80, встроенной в трубчатый образец по заданной схеме.

Оценку скорости и степени восстановления формы и размеров проводили нагреванием образцов от начальных температур -20 (в морозильной камере) и +20 °С до температуры восстановления. Нагрев осуществляли с помощью источника постоянного тока, а восстановление формы образцов фиксировали с помощью фото-видео камеры, с последующим расчетом кинетики и степени восстановления.

Полученные кинетические кривые показали, что наиболее высокой скоростью и степенью восстановления формы и размеров обладают ПКМ на основе углеродных волокон, практически вне зависимости от начальной температуры нагревания образцов. С уменьшением модуля упругости волокон, образующих армирующую ткань, т.е. композиционные материалы на основе стеклянной и арамидной тканей эти эффекты уменьшаются.

## **Изготовление ПКМ с молниезащитными покрытиями методом вакуумной инфузии**

Гуняева А.Г., Черфас Л.В.

Научный руководитель – Чурсова Л.В.

ФГУП «ВИАМ», г. Москва

Расширение объема применения полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкциях планера самолетов нового поколения поставило задачи по защите конструкций из ПКМ от воздействия молниевых разрядов и

накопления статического электричества на поверхности летательного аппарата (ЛА). Все системы молниезащиты для композитного фюзеляжа самолета, применяемые ранее и существующие сегодня – это материалы с высоким уровнем величин поверхностной электро- и теплопроводности – металлическая сетка или алюминиевая фольга различной конфигурации. Однако применение схемы металл/углепластик имеет ряд весомых недостатков.

Длительное время в технологии изготовления конструкционных ПКМ использовали препреги, получаемые по растворной технологии, используя полимерные связующие с высоким содержанием растворителя. Основным методом формования таких препрегов являлся метод автоклавного формования, который обеспечивал высокий уровень физико-механических свойств и низкую пористость получаемых пластиков. Поиски альтернативных безавтоклавных технологий с использованием связующих нового расплавного типа, которые смогли бы повысить технологичность, исключить большинство вспомогательных операций и обеспечить высокий уровень свойств, привели к созданию новых энергоэффективных методов формования при производстве ПКМ: пропитка под давлением RTM (Resin Transfer Molding), вакуумно-инфузионный VaRTM (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding), пропитка с использованием пленочного связующего RFI (Resin Film Infusion).

В работе приведены результаты исследований, выполненные во ФГУП «ВИАМ», по выбору состава и разработке технологии совмещения наномодифицированных электропроводящих покрытий марок ВЭП-1 и ВЭП-2, предназначенных для защиты от накопления статического электричества и разрядов молнии с параметрами  $I=200$  кА и  $Q$  более 30 Кл, с ПКМ на основе углеродных или стеклянных армирующих наполнителей и расплавного полимерного связующего способом вакуумной инфузии VaRTM. Для минимизации диэлектрических свойств матрицы исследовалась возможность применения в ее составе не только уже опробованных углеродных наномодификаторов фуллероидного типа астраленов, но и наноструктурированного материала – терморасширенного графита. Также показаны результаты исследований механических свойств, оценки молниестойкости, исследования методом ультразвукового контроля образцов после воздействия молниевоего разряда с целью определения образовавшихся внутренних дефектов.

По результатам проведенных исследований было установлено, что электропроводящее покрытие, изготовленное по препреговой технологии и совмещенное в одном технологическом цикле с ПКМ на основе расплавного связующего способом инфузии, не уменьшает прочностные показатели конструкционного ПКМ, является частью конструктивной силовой схемы, а не используется как «жертвенный» защитный слой; повышает стойкость материала к воздействию динамических и тепловых нагрузок. В образцах ПКМ с электропроводящим покрытием отсутствуют сквозной пробой, трещины, отрыв слоев и повреждения обратной стороны. Зафиксировано разрушение волокна верхнего слоя образца размером (100x100) мм на максимальной площади диаметром не более 45 мм, остаточная прочность в эпицентре удара составляет порядка 80 % от исходной прочности образца.

## **Методы формирования трёхмерных полимерных матрицков для регенеративной медицины на примере полисахаридов и их производных**

Демина Т.С.

Научный руководитель – Аكوпова Т.А.  
ИСПМ РАН им. Н.С. Ениколопова, г. Москва

Получение полимерных матрицков – подложек для прикрепления, роста, пролиферации, дифференцировки и т.д. клеток – является одним из ключевых направлений полимерной химии и материаловедения в области биомедицинских материалов. В зависимости от функций, которые должен выполнять матрицк, к его составу, морфологии и свойствам предъявляется широкий набор требований, основными из которых являются: биосовместимость, биоактивность, морфология/архитектура, механические свойства и т.д. Морфология/архитектура матрицка не только во многом определяет его физико-механические характеристики, но и является одним из важных параметров его взаимодействия с клетками/тканями. Архитектура матрицка должна обеспечивать достаточную поверхность для прикрепления и роста клеток; свободный ток питательных веществ и метаболитов; пространство для васкуляризации и т.д. Учитывая жесткие требования предъявляемые к биосовместимости/биоактивности материалов и, соответственно, узкий диапазон полимеров, которые могут быть использованы для получения матрицков, разработка и оптимизация методов формирования трехмерных структур на основе этих полимеров является нетривиальной задачей.

В настоящей работе описаны различные подходы к формированию трехмерных матрицков для регенеративной медицины на примере полисахаридов (хитозан и его производные, гиалуроновая кислота), которые являются одним из наиболее перспективных с точки зрения биосовместимости/биоактивности классов высокомолекулярных веществ. Рассмотрены методы получения как трехмерных композиционных материалов, в т.ч. нанонаполненных, так и объемных структур на основе производных полисахаридов, что позволяет расширить диапазон технологических приемов и формировать материалы с использованием методов, которые для немодифицированных полисахаридов не применяются.

Показано получение макропористых гидрогелей на основе хитозана, а также его N-ацелированных производных; исследовано влияние химической структуры полисахарида на морфологию и свойства гидрогелей, в т.ч. на биосовместимость и скорость биодеградации. Разработан подход к формированию композиционных гидрогелей на основе хитозана и гиалуроновой кислоты, в т.ч. наполненных наночастицами гидроксипатита, за счет получения как полиэлектролитных комплексов этих полисахаридов, так и за счет сшивания хитозана. Показана возможность формирования нетканых микро-/нановолокон на основе амфифильных сополимеров хитозана с полилактидом методом электроформования из органических растворителей. Описано получение трехмерных структур с четко заданной архитектурой на основе производных хитозана, в т.ч. ненасыщенных, методом лазерной стереолитографии. Разработан метод получения сферических микроносителей на основе

амфифильных привитых сополимеров хитозана и олиго/полиэфиров методом «масло в воде» без применения эмульгатора в водной фазе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ: проект №14-29-07234-офи\_м – в части синтеза полисахаридов, содержащих ненасыщенные группы; проект №15-02-06233 – в части твердофазного синтеза гибридных систем на основе полисахаридов и их новых производных и сополимеров; проект №15-04-07669 – в части формирования биосовместимых и биodeградируемых полимерных матриц для тканевой инженерии).

### **Исследование структурных изменений при взрывном прессовании полимерных композиций на основе политетрафторэтилена**

Дробот Л.Ю., Прохновский М.В.

Научные руководители – Адаменко Н.А., Агафонова Г.В.  
ВолгГТУ, г. Волгоград

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №15-43-02244

Создание композиций на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) с близкими по термостойкости, но обладающим более высокой прочностью и твердостью линейным полиэфиром (полиоксibenзоилом, ПА) позволяет получать материалы с низким коэффициентом трения, высокой износостойкостью и прочностью с температурой эксплуатации до 300°C. Однако получение изделий из термостойких полимеров известными способами затруднено и требует использования новых способов переработки. Перспективной для фторполимеров и композитов на их основе является технология взрывного прессования (ВП). В полимерных материалах, подвергнутых ВП происходят различного рода структурные изменения, что позволяет получать высокоплотные прессовки с новым уровнем свойств.

В ходе исследования было изучено влияние давления взрывного прессования на формирование микроструктуры и параметры кристаллической структуры композиций на основе ПТФЭ с 30-80 % ПА после ВП давлением от 0,9 до 4,6 ГПа.

Исследование микроструктуры композиций ПТФЭ с ПА показало, что в зависимости от величины энергосилового воздействия реализуются различные механизмы ударного уплотнения полимерной смеси и взаимодействия компонентов. При низком давлении ВП (0,9 ГПа) микроструктура полученных образцов, не зависимо от состава композиций, имеет практически такой же характер, как у статически спрессованных материалов. Увеличение концентрации одного из компонентов приводит к росту числа контактных площадок между соседними частицами, однако межчастичные связи остаются относительно слабыми. При давлении 2,8 ГПа осуществляется структурная деформация, сближение частиц и смятие их контактов. На микроструктурах композиций как с большим, так и с меньшим содержанием ПТФЭ наблюдается упорядоченное расположение частиц порошков вдоль распространения ударного фронта. Повышение давления до 4,6 ГПа приводит к максимальной деформации полимерных частиц, они заметно сплюсчиваются по направлению ударного сжатия.

Установлено, что уплотнение композиций, содержащих более 50 % ПТФЭ происходит преимущественно за счет его деформации и ориентации вдоль ударного фронта. При прессовании композиций, наполненных более 50% ПА, стадия переукладки крупных частиц в более плотную упаковку проходит через дробление. Ударное измельчение полимера обусловлено высоким давлением 4,6 ГПа, а также высокой твердостью стеклообразного ПА. Процессу дробления сопутствует консолидация раздробленных частиц, при этом измельчение полимерных частиц сопровождается и их пластической деформацией.

Обнаружено, что увеличение содержания в композиции более пластичного ПТФЭ с 20 до 70 % уменьшает структурные искажения кристаллической решетки ПА с минимумом  $\beta=3,7$  мрад при  $P=2,8$  ГПа, а наибольшие изменения в структуре ПТФЭ вплоть до измельчения кристаллитов и развития текстуры с одновременной ориентацией ПА при его содержании до 50 % происходят при  $P = 4,6$  ГПа.

### **Модифицирование плёнок хитозана в разряде постоянного тока для регуляции поведения различных животных клеток на их поверхности**

Дроздова М.Г., Демина Т.С.

Научный руководитель – Марквичева Е.А.

ИБХ им. акад. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, г. Москва

Плазмохимическое модифицирование поверхности полимерных материалов является одним из наиболее перспективных подходов к контролю структуры и свойств поверхности, т.к. наряду с эффективностью данный метод сочетает технологичность и экологичность. Возможность варьировать различные параметры обработки (тип разряда и его мощность, природа рабочего газа, время обработки и т.д.) позволяет контролировать в широком диапазоне характеристики поверхности. Как правило, модифицирование в плазме используют для увеличения гидрофильности поверхности, адгезии, а также для ее функционализации. В последние десятилетия плазмохимическая обработка находит все более широкое применение для контроля структуры и свойств поверхности биосовместимых материалов, в т.ч. материалов для регенеративной медицины [1].

В настоящей работе исследовано влияние модифицирования в плазме поверхности пленок хитозана на адгезию и рост различных животных клеток. Хитозан – продукт деацетилирования хитина – один из наиболее широко исследуемых полимеров для регенеративной медицины. В работе использовали хитозан фирмы «Сонат» (Россия) с молекулярной массой 350 кДа и степенью деацетилирования 0.14. Пленки толщиной ~ 70 мкм формовали из 1% раствора хитозана в 2% уксусной кислоте методом полива и сушкой в беспылевом шкафу. Для перевода пленочного образца в основную непротонированную форму пленки последовательно выдерживали в 25, 10, 1% растворе водного аммиака, тщательно отмывали бидистиллятом и сушили в беспылевом шкафу. Модифицирование поверхности полученных пленок хитозана проводилось низкотемпературной плазмой постоянного тока при напряжении 50 мА в течение 60 сек; на катоде и на аноде. В качестве рабочего газа использовали

остаточный воздух. Поверхностные свойства пленок, химическую структуру поверхностных слоев и их морфологию исследовали методами гониометрического измерения краевых углов смачивания, рентгенофотоэлектронной спектроскопии и сканирующей электронной микроскопии [2]. Исследования жизнеспособности *in vitro* клеток фибробластов мыши (L929) и мезенхимальных стволовых клеток (МСК) человека при культивировании на исходной и обработанных на катоде и аноде пленках проводили методом оптической микроскопии и с помощью МТТ-теста. Было показано, что такая модификация приводила к изменениям свойств поверхности, а также способствовала увеличению пролиферации МСК до 1.5 – 2.0 раз (после обработки на аноде и на катоде, соответственно) по сравнению с необработанной пленкой. В тоже время обработка в плазме приводила к небольшому увеличению жизнеспособности фибробластов (12%) только после обработки на аноде. Таким образом, рост клеток на модифицированных пленках зависел как от типа обработки, так и от типа клеток.

Авторы выражают благодарность к.х.н. Гильман А.Б. и к.х.н. М.Ю. Яблокову (ИСПМ РАН г. Москва) за проведение обработки образцов в плазме и помощь в исследовании поверхности после обработки.

Литература:

Chu P.K., Chen J.Y., Wang L.P., Huang N. // *Mater. Sci. Eng. R.* 2002. V. 36. № 5–6. P. 143.

T.S. Demina, M.G. Drozdova, M.Yu. Yablokov, A.I. Gaidar, A.B. Gilman, D.S. Zaytseva-Zotova, E.A. Markvicheva, T.A. Akopova, A.N. Zelenetskii // *PlasmaProcessingandPolymers.* 2015. V. 12. № 8. P. 710.

## **Исследование реологических свойств сополимеров пропилена с этиленом**

Дуванов Д.С.

Научный руководитель – Суриков П.В.

МГУ г. Москва

В последние годы расширяется применение сополимеров пропилена с этиленом для изготовления изделий литьем под давлением. В отличие от изотактического полипропилена сополимеры обладает большей морозостойкостью, стойкостью к ударным воздействиям при низких температурах и прозрачностью, что делает этот материал перспективным для производства как изделий технического, так и хозяйственного назначения.

Особый интерес представляет применение литьевых марок статистических и блок-сополимеров для изготовления крупногабаритных изделий сложной конфигурации с высоким отношением длины затекания расплава к толщине стенки изделия. Однако, как показал опыт переработки в промышленных условиях, стандартные реологические показатели марок материалов (ПТР) не достаточны для выбора технологических параметров процесса литья под давлением, обеспечивающих стабильное заполнение формы.

В связи с этим были проведены реологические исследования сополимеров пропилена с этиленом: статистического сополимера марки PP4445S и блок-сополимера – марки PP8348S производства ПАО «Нижнекамскнефтехим»,

имеющих ПТР35-45 г/10мин и38-50 г/10мин, соответственно. Исследования проводили на капиллярном вискозиметре Dynisco LCR7001 в интервале температур от 190 до 270°C в диапазоне скоростей сдвига от 10 до 1200 1/с. Кривые течения были построены с учетом поправок на входные потери давления и неньютоновское поведение расплава. Показано, что полученные кривые течения хорошо аппроксимируются степенными зависимостями, параметры которых были определены (индекс течения и коэффициент консистенции).

В пределах исследованного температурного диапазона были построены зависимости эффективной вязкости исследованных материалов от скорости сдвига и рассчитаны энергии активации вязкого течения ( $E_{акт}$ ) = 49,9 кДж/Моль и 42,0 кДж/Моль, для PP4445S и PP8348S соответственно. Построенная математическая модель зависимости вязкости от скорости сдвига и температуры позволила смоделировать в рамках упрощенной модели процесс заполнения литьевой формы расплавом пластмассы. Теплофизические показатели перерабатываемых расплавов были оценены расчетным методом. Полученные зависимости глубины затекания расплава от толщины стенки формуемого изделия позволили выработать рекомендации по технологическим параметрам литья под давлением - температура расплава и литьевой формы, объемный расход расплава и давление.

Проверка разработанных рекомендаций в промышленных условиях изготовления транспортной тары (контейнеров) объемом до 0,2 м<sup>3</sup> дала положительные результаты.

## **Старение термопластов, модифицированных в плазме ВЧ разряда**

Дудочкина Д.П.

Научный руководитель – Чалых А.Е.

МАИ, г. Москва

В практике полимерного материаловедения широко используется модификация материалов плазмой газовых разрядов для решения проблем, связанных с улучшением смачиваемости и адгезионных свойств, изготовлением композиционных материалов на основе полимеров, активированных в плазме, использованием полимерных материалов для медицины, улучшением газоразделительных свойств полимерных мембран и др.

Нерешенными остаются вопросы стабильности приобретенных свойств, способы регулирования и прогнозирования стабильности поверхностных свойств, уменьшения эффекта старения и выбор эффективных способов дальнейшей переработки модифицированных материалов

Целью данной работы является изучение кинетики изменения поверхностных свойств пленок термопластов после их обработки в плазме в процессе хранения.

В качестве объекта исследования использовали пленки полиэтилена (ПЭ), полиэтилентерефталата (ПЭТФ), поливинилхлорида (ПВХ), полиимида (ПИ), полипропилена (ПП), полистирола (ПС), полиамида-6 (ПА-6) и полинафтоиленимидобензимидазол ПНИБ) толщиной 30-95 мкм. Поверхность образцов обрабатывали в плазме высокочастотного (ВЧ) воздушного разряда в вакуумной камере при давлении 0,09 мм рт.ст. Частота генератора составляла 10

МГц, амплитуда напряжения – 1,2 кВ. Продолжительность травления составляла 10 мин.

Поверхностную энергию образцов определяли методом краевых углов смачивания набором тестовых жидкостей (вода, глицерин, трикрезилфосфат) с помощью горизонтального микроскопа с гониометрической шкалой. Величину поверхностной энергии  $\gamma$ , ее полярной  $\gamma^P$  и дисперсионной  $\gamma^D$  составляющих рассчитывали с использованием метода Оуэнса-Вендта.

Получены зависимости поверхностной энергии обработанных в плазмеобразцов от времени хранения на воздухе при температурах 20°C, 40°C, 60°C.

В результате показано, что:

- наблюдается самопроизвольное уменьшение поверхностной энергии для всех образцов в процессе хранения;
- скорость этого процесса увеличивается с повышением температуры хранения;
- снижение поверхностной энергии в процессе хранения происходит за счет падения полярной составляющей, тогда как дисперсионная составляющая практически не изменяется в течение всего времени наблюдения.
- микрорельеф поверхности в процессе хранения не изменяется;

### **Арочные мосты с применением углепластиковых арочных элементов**

Евдокимов А.А., Мишкин С.И., Гуляев И.Н.

Научный руководитель – Раскутин А.Е.

ФГУП «ВИАМ», г. Москва

В настоящее время на территории Российской Федерации существует большое количество автомобильных дорог, которые проходят через районы, где возведение мостов с применением крупногабаритных железобетонных конструкций крайне затруднительно из-за природных особенностей, например в зонах с вечной мерзлотой и горных районах. В тоже время для обеспечения круглогодичного автомобильного сообщения в эти районы необходимо строительство дорог и мостовых сооружений. Еще одной проблемой являются существующие мосты, возведённые, как минимум, полвека назад, которые находятся в аварийном состоянии и требующие замены или реконструкции. Для решения проблемы предлагается технология строительства быстровозводимых арочных мостов с использованием полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе стеклянных и углеродных армирующих волокнистых наполнителей.

Для возведения мостового сооружения в производственных условиях изготавливаются полые арочные элементы из углепластика и листы стеклопластикового профнастила, которые доставляются на место строительства или организуется производственная площадка в непосредственной близости от места строительства. На заранее возведенный фундамент монтируются арочные элементы весом 30-150 кг, после чего они заполняются бетоном. Затем поверь арочных элементов монтируется профнастил, на который наносится слой торкретбетона и засыпается грунт, после чего укладывается дорожное покрытие.

ФГУП «ВИАМ» совместно с АО «НИИГрафит» занимается разработкой материалов и технологий изготовления изделий из ПКМ для строительства данных мостовых сооружений, а также разработкой технологических решений, применимых для строительства мостов разных типоразмеров.

В настоящее время осуществлены следующие работы:

- разработаны связующие холодного отверждения двух марок -BCЭ-38 (эпоксидное) и ВСВ-43 (эпоксивинилэфирное) с низкой вязкостью для изготовления изделий методом вакуумной инфузии;
- разработаны и паспортизованы материалы углепластик марки ВКУ-51 и стеклопластик марки ВПС-58, применяемые при изготовлении арочных элементов и листов профилированного настила;
- подобраны системы комплексной защиты от старения и биоповреждения ПКМ, а также системы антикоррозионных защитных покрытий и огнезащитное покрытие марки ВЗО-9х;
- разработана конструкция дорожного детектора, позволяющего решить задачу весового контроля транспорта и оценить интенсивность транспортного потока;
- разработана технология строительства мостовых сооружений с использованием в качестве надземных частей опор арочных элементов и профилированного настила составлена проектная и конструкторская документация на строительство пилотного мостового сооружения в р.п. Языково Ульяновской обл.

Разработанные технологии позволяют создавать быстровозводимые мостовые сооружения весом в 20 раз легче бетонных и в 5 раз легче стальных конструкций, что позволяет сократить расходы на строительство и их эксплуатацию. Кроме того, изготовление арочного моста на строительной площадке занимает всего 2-3 месяца и, следовательно, это позволяет резко сократить экономические потери и уменьшить загрязнение окружающей среды.

### **Особенности расчёта и выбор критериев напряженно-деформированного состояния для тонкостенных конструктивных элементов из УУКМ**

Еремкин И.В., Киктев С.И., Хомовский Я.Н.

Научные руководители – Абашев В.М., Демидов А.С.

МАИ, г. Москва

Углерод-углеродные композитные материалы (УУКМ) обладают рядом особенностей, которые необходимо учитывать при оценке их напряженно-деформированного состояния. К таким особенностям следует отнести: 1) существенную анизотропию свойств; 2) низкий коэффициент Пуассона; 3) низкий, а в определённом температурном диапазоне даже отрицательный коэффициент линейного расширения. При проведении практических расчетов на прочность приходится определять, какой из известных теорий прочности: а) Галилея – наибольшего нормального напряжения; б) Сен-Венана – наибольших деформаций; в) наибольших касательных напряжений; г) Бельтрами-Хея, по которой мерилом прочности является потенциальная энергия, накопленная в единице объёма материала, и

достижение предела текучести является началом разрушения, следует отдать предпочтение. Вследствие различной природы возникновения напряжений от воздействия температурных и силовых факторов целесообразно введение и анализ соответствующих раздельных критериев. Величина температурного критерия  $K_t$  отражает собой совершенство материала в отношении теплофизических и механических свойства представляет собой отношение температурного напряжения в проектируемом конструктивном элементе к напряжению в таком же элементе из другого материала (эталонного). В качестве эталонного материала может быть выбран более технологичный, более прочный, более дешёвый или материал, обладающий другими особенностями. В качестве эталонных могут поочередно рассматриваться несколько материалов. Величина силового критерия отражает собой конструктивное совершенство рассматриваемого элемента. В качестве силового  $K_s$  предлагается рассматривать отношение максимального напряжения в элементе конструкции к «фоновому» напряжению в этом же элементе. Иногда за величину  $K_s$  может быть принят коэффициент концентрации напряжений. Анализ формул, по которым определяются соответствующие температурные и силовые напряжения, показывает, что единственной общей характеристикой, входящей в эти формулы, является коэффициент Пуассона или коэффициент поперечной деформации. Коэффициент Пуассона (коэффициент концентрации напряжений) отражает собой свойство пластичности материала и для УУКМ, имеющих, как правило, его низкое значение, создаёт ещё одну особенность, которую необходимо учитывать в расчётах на прочность. Выполнены расчеты с определением величин критериев температурного и силового критерия для тонкостенной оболочки из различных конструкционных материалов и из УУКМ.

### **Барьерные свойства наномодифицированных композиционных материалов на основе полиамида 6**

Ермилова А.И., Петрова М.Ю., Битт В.В.

Научный руководитель – Ушакова О.Б.

ООО «Группа ПОЛИПЛАСТИК», г. Москва

Анализ научно-технической и патентной информации показал, что наиболее часто в качестве барьерного слоя для предотвращения диффузии кислорода используется сополимер этилена с виниловым спиртом (EVOH). Важно отметить, что при температуре выше  $80^{\circ}\text{C}$  во влажной среде барьерные свойства EVOH снижаются на несколько порядков. Кроме того, в процессе длительной эксплуатации при повышенных температурах происходит гидролитическая деструкция EVOH.

Одним из эффективных способов повышения барьерных свойств материалов, работающих при температурах выше  $80^{\circ}\text{C}$ , является использование специальных многослойных конструкций с функциональными слоями на основе наномодифицированных полимерных материалов.

В работе были рассмотрены композиции на основе сплава ПА-6 + малеинизированный полиэтилен с содержанием органомодифицированного монтмориллонита 1, 3, 5 масс. %

Для данных композиций были определены значения коэффициентов

кислородопроницаемости при 23°C и 90°C, проницаемости к CO<sub>2</sub> с использованием установки LabthinkVAC-V2 согласно ISO 15105-1, а также паропроницаемости.

Установлено, что для образцов с увеличением содержания нанонаполнителя коэффициент паропроницаемости уменьшается на 9%, 43%, 35%, соответственно, по сравнению с немодифицированным сплавом ПА-6+малеинизированный полиэтилен. Значения коэффициентов проницаемости по кислороду при 23°C - меньше на 3%, 8%, 32%. Следует отметить, что при повышенной температуре наблюдается более эффективное снижение коэффициента кислородопроницаемости:  $4,30 \cdot 10^{-12}$  при 90°C и  $0,78 \cdot 10^{-10}$  при 23°C.

Самые низкие значения коэффициента кислородопроницаемости при 90 °C и проницаемости по CO<sub>2</sub>, а также коэффициента паропроницаемости соответствуют композиции с содержанием 3 масс. % органомодифицированного монтмориллонита.

Обобщенные результаты измерения коэффициентов проницаемости показали, что полученная композиция незначительно уступает по данным показателям другим полимерным материалам, используемым для повышения барьерных свойств, например, полифениленсульфид, сополимер этилена с виниловым спиртом с содержанием этилена 32 - 44 мол. %, а при температурах выше 90°C значительно превосходит по показателю кислородопроницаемости EVOH.

Дополнительно в работе были определены основные эксплуатационные характеристики данной композиции. Анализ данных показал, что качество разработанного полимерного композиционного материала значительно превосходит немодифицированный сплав ПА-6+малеинизированный полиэтилен. Наиболее важными характеристиками являются увеличенный более чем на 30 % модуль упругости при растяжении и повышение деформационной теплостойкости.

Полученные результаты показывают, что введение органомодифицированных монтмориллонитов в полимерный композиционный материал на основе полиамида приводит к повышению барьерных свойств по отношению к таким газам, как CO<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>, а также способствует расширению области их применения в качестве конструкционных материалов.

### **Изучение низковязких композиций, применяемых в безавтоклавных методах формования изделий из полимерных композиционных материалов**

Замараев А.А., Курмашева Л.Р., Шергин А.А.

Научный руководитель – Магсумова А.Ф.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

В последнее время наблюдается широкое применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) для изготовления элементов конструкций летательных аппаратов и наземного транспорта. В связи с этим, наиболее важной задачей становится сокращение стоимости производства и технического обслуживания композиционных конструкций. Для ее решения необходим принципиально новый подход, заключающийся в сочетании новых методов

проектирования конструкций из ПКМ и экономичных методов их производства. Как известно, применение безавтоклавных технологий позволяет всего этого достичь. К сожалению, на сегодняшний день в основном применяются зарубежные марки низковязких связующих. Поэтому вопросы получения отечественных, конкурентоспособных пропиточных связующих является весьма актуальной задачей.

Целью данной работы была разработка олигомерных основ для низковязких связующих, применяемых в безавтоклавных методах формования. Проведены исследования реологических и физико-химических свойств низковязких композиций на основе низкомолекулярных ЭО и их смесей, а также в присутствии активных разбавителей. В качестве объектов исследования были выбраны низкомолекулярные марки эпоксидных смол YD-128, ЭД-20, DER-331 и DER-332. Как активные разбавители применяли следующие: азотсодержащий эпоксидный олигомер (ЭА), монофункциональный глицидиловый эфир (LGE), диглицидиловый эфир этиленгликоля (ДЭГ-1), диглицидиловый эфир 1,4-бутандиола(ДГЭБД).

Исследование вязкости модифицированных эпоксидных смесей были проведены при различных температурах на ротационном динамическом реометре «Reostress 6000». Физико-химические свойства изучались на приборе DSA20E (EasyDrop) фирмы «Kruss». Измерение плотности низковязких эпоксидных смесей проводили пикнометрическим методом на жидкостном термостате.

По результатам проведенных реологических исследований было выявлено, что максимальную эффективность в снижении вязкости эпоксидных систем (в 2-3 раза) проявляют активные разбавители LGE и ДГЭБД, причем при их содержании до 6 мас%. Из изучаемых основ наиболее выгодными с целью достижения минимальных значений вязкости оказались смолы марок ЭД-20 и DER-331. Установлено, что для композиций (DER-331+ДГЭБД) и (ЭД-20+ДГЭБД) модификация приводит в целом к возрастанию показателя поверхностного натяжения, а в случае с композициями (DER-331+LGE) и (ЭД-20+LGE) наблюдается его снижение. Результаты по смачивающей способности модифицированных эпоксидных основ хорошо коррелируют с данными реологических измерений. По результатам изменения реологических и физико-химических свойств изучаемых модифицированных составов были использованы для расчетов пропитывающей способности. Температуру стеклования эпоксидных смесей определяли методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на ТГ/ДСК-анализаторе «STA 449C Jupiter» («Netzsch») с низкотемпературной приставкой при  $T < 293\text{K}$ . Показана возможность использования теплофизических данных изучаемых смесевых систем при выборе наиболее эффективного разбавителя.

Таким образом, смолы марок ЭД-20 и DER-331 в сочетании с активными разбавителями LGE и ДГЭБД наиболее предпочтительны в качестве основы для получения низковязких пропиточных связующих.

## **Этапы изготовления высоковязких эпоксидных составов и пленочных связующих на их основе**

Замараев А.А., Петрунина Е.С., Хафизов В.А.

Научный руководитель – Магсумова А.Ф.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

В настоящее время при производстве высоконагруженных, теплостойких изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) широко применяется такой метод формования, как RFI (Resin Film Infusion), предполагающий использование безрастворных пленочных связующих на основе высоковязких смол. Применение данного метода в авиастроительной промышленности, с экономической точки зрения, вполне себя оправдывает. Известно, что использование технологии пропитки пленочным связующим в целом ведет к снижению стоимости композитной конструкции, так как в основном её стоимость определяется высокими затратами на оборудование, высокой трудоемкостью и энергоемкостью автоклавной технологии. Также данному методу присущ ряд особенностей: пропитка пленочным связующим заранее сформированного сухого пакета наполнителя происходит в поперечном направлении, что ведет к сокращению пути и минимизации непропитанных участков в изделии. Кроме того, связующее в виде пленки заранее укладывается на оснастку в требуемом объеме, обеспечивая при этом в изделии из ПКМ заданное соотношение наполнитель/матрица.

Однако существуют и ряд трудностей, связанных с ужесточенными требованиями предъявляемыми к пленочным связующим (ПС): при  $T=20\div 25^{\circ}\text{C}$  должны быть достаточно вязкими, что позволило бы находиться им в виде пленки, а при температурах пропитки ( $T=90\div 100^{\circ}\text{C}$ ) вязкость должна иметь довольно низкие значения ( $0.4\div 2\text{Па}\cdot\text{с}$ ); должны быть эластичными для формирования деталей двойной кривизны; обладать контактной липкостью, для их удержания на оснастке, а также межфазного взаимодействия контактирующих слоев ткани.

Опираясь на вышеуказанные требования, для разработки пленочных связующих, были проделаны следующие этапы: на основе смесей высокомолекулярных эпоксидных олигомеров: D.E.N.438, ЭХД, ЭТФ, УП643, ЭД8, ЭД10 и ЭД16, в различных пропорциях были приготовлены изучаемые композиции, реологические свойства которых были исследованы при различных температурах на ротационном динамическом реометре «Reostress 6000» фирмы «Нааке» при постоянной скорости сдвига. Температуру стеклования эпоксидных смесей определяли методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на ТГ/ДСК-анализаторе «СТА 449С Jupiter» («Netzsch») с низкотемпературной приставкой при  $T < 293\text{ К}$ . Липкость составов в виде пленок оценивали на измерительном приборе, соответствующем стандартам GB/T 4852, JIS Z0237.

Анализ полученных результатов позволил определиться с составами, которые в последующем послужат основой для ПС, удовлетворяющими вышеуказанным требованиям: D.E.N.438-ЭД10 (50%-50%, 25%-75%); ЭХД-ЭД10 (50%-50%, 25%-75%); ЭХД-ЭД8 (50%-50%, 25%-75%).

Следующим этапом в работе был подбор отвердителя. Исследования процессов отверждения плечочных связующих на ДСК, а также изучение их жизнеспособности на динамическом механическом анализаторе DMA 242 («Netzsch») позволили остановить выбор на одном из аминных порошкообразных отвердителей. Липкость полученных составов с введением отвердителя увеличилась, но при этом составы отделялись от оснастки без потери массы связующего, что вполне удовлетворяет требованиям.

### **Выбор и подготовка исходного сырья для изготовления модулей для лунных и марсианских поселений методом 3D прототипирования**

Зарипов И.Р., Смолкин Р.М., Акимов А.В.  
Научный руководитель – Байгалиев Б.Е.  
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

В работе представлен способ подготовки компонентов для производства модулей для лунных и марсианских поселений методом 3D прототипирования. В качестве исходного сырья используется: цемент, песок, вода, известь, гравий и шлак, зола, зольная пыль, жидкое стекло, гидроксид калия и др. Затем данные материалы, согласно расчетам, взвешиваются и направляются в смесительные емкости для получения материала, позволяющего изготовить данные модули.

Производство модулей методом 3D прототипирования осуществляется несколькими типами технологий.

В качестве исходного сырья используется: цемент, песок, вода, известь, гравий, из которых изготавливается бетон. Шанхайская компания Shanghai WinSun Decoration Design Engineering Co предлагает 3D-принтер WinSun. 3D-принтер имеет габаритные размеры 150 м (длина) x 10 м (ширина) x 6,6 м (высота). Изготавливаемые модули имеют площадь 200 м<sup>2</sup> и высоту до 6 метров.

Предлагается уникальный состав геополимерного бетона. Основными компонентами состава являются шлак, зола, зольная пыль, жидкое стекло и гидроксид калия. Данный состав позволяет печатать изделия любых форм: выпуклые, краугольные, изогнутые, кубические. Усовершенствованная формула бетона укладывается методом экструдирования, что позволяет значительно упростить строительные работы, так как исключается необходимость в опалубке. Готовые бетонные фигуры легко поддаются корректировке и отделочным работам (университет Лафборо, Великобритания).

Кроме бетона некоторые фирмы (лаборатория Sabin Design при Корнельском университете в Нидерландах) предлагают изготавливать сооружения из кирпича, которые производят на 3D-принтере.

В некоторых вариантах производства модулей предлагается использовать не только бетон и кирпич, но и производить установку готовой сантехники и проводки. Проект Contour Crafting (Южно-Калифорнийский университет, США (WO2007/050968A2)).

В данном докладе предлагается технология подготовки исходного сырья для строительства модулей для лунных и марсианских поселений методом 3D прототипирования. Необходимо провести следующие процедуры: для

получения бетона необходимого состава по прочности стоимости необходимо провести расчет оптимального состава бетона при наличии математической модели бетона. Согласно расчету мы получаем количественный состав этого сырья – масса песка, масса воды, масса извести, марка цемента, масса цемента, масса гравия.

Следующим этапом необходимо подготовить контрольно-измерительные приборы и оборудование: весы, дозаторы, контейнеры, емкости для обеспечения количественного состава, рассчитанного при оптимизации. Затем с помощью этого оборудования в определенную емкость помещаются все данные компоненты и согласно технологии производства бетона (перемешивание) получаем бетон оптимального состава.

Способ непосредственной подачи цемента в баки 3D принтера.

Компоненты строительной смеси подаются непосредственно в бак-бетономешалку 3Dпринтера, в котором при необходимых параметрах происходит изготовление бетонной смеси. Необходимым условием является обеспечение сохранности бетона при заданных параметрах. Из бетономешалки бетон подается в экструдер (печатающая головка принтера).

Для реализации изготовления модулей для лунных и марсианских поселений с окнами и дверьми, которые изготавливаются из полимерных материалов, необходим второй 3D принтер. Сырье для этого принтера готовится в термопластавтоматах (ТПА) из полимерного материала, необходимого для производства данного сооружения с нужными теплофизическими характеристиками.

Для производства пола, потолка и крыши необходима металлическая арматура. Эта арматура изготавливается в третьем 3D принтере.

## **Создание керамоматричных композиционных материалов с использованием линейных поликарбосиланов**

Зуев К.В.

Научный руководитель – Бухаров С.В.  
МАИ, г. Москва

Армированные композиционные материалы с керамической матрицей представляют собой перспективный класс материалов. Они могут использоваться в качестве замены металлам в различных областях применения, а также конкурировать с другими конструкционными материалами, как традиционными, так и композиционными, в широком диапазоне режимов использования (в том числе не только при высоких, но и при умеренных температурах – менее 1000°C) и условий эксплуатации. Именно поэтому разработка таких материалов является актуальной задачей на сегодняшний день.

Керамика на основе карбида кремния обладает инертностью по отношению к воздействиям многих химически агрессивных сред, высокими показателями механических свойств (упругость, твердость, прочность), а также широким диапазоном изменения теплофизических характеристик. Использование поликарбосиланов в качестве полимерных прекурсоров для получения карбида кремния является важным направлением развития технологии создания композиционных материалов, поскольку позволяет получать высокопрочную

окислительно стойкую керамику с требуемой наноразмерной структурой, при этом не требуя применения сложного оборудования или очень высоких температур.

В работе в качестве исходного материала использовался линейный поликарбосилан производства ГНИИХТЭОС, имеющий молекулярную массу 800-2000 (иногда до 10000), коэффициент полидисперсности 2,0-3,5. Исходная структура характеризуется сравнительно небольшими, но сильно разветвленными линейно-циклическими молекулами с большим количеством перекрестных связей и активных боковых звеньев. Такой поликарбосилан (ПКС) довольно легко растворяется в неполярных органических растворителях, что является очень важным свойством с технологической точки зрения - способность полного смачивания такими растворами волокнистого наполнителя дает возможность формования препрегов с последующим пиролизом до получения керамоматричного ККМ. Температура размягчения ПКС в инертной среде (азоте) составляет 190°C. При температуре 250-295°C вязкость расплава ПКС позволяет пропитывать волокнистые каркасы. Материал относительно легко формуется из расплава в различные изделия, отверждается нагреванием на воздухе при температуре выше 250°C с выдержкой 30 - 60 мин.

В процессе исследований были установлены особенности отверждения и изучена структура получаемой керамики. Также были проведены испытания получаемой керамики на термостойкость, в результате которых было выявлено, что при нагреве до температуры 1700°C на воздухе не наблюдается прироста массы. Это может быть объяснено формированием на поверхности защитного слоя SiO<sub>2</sub>, препятствующего дальнейшему окислению вплоть до температуры его плавления.

Совокупность свойств получаемой керамики и использование защитных покрытий, наносимых на непрерывный наполнитель, дает принципиальную возможность создания композиционных материалов нового поколения, что подтверждают результаты последних исследований, полученные в ГНЦ РФ «ГНИИХТЭОС». Рабочие температуры таких КМ ориентировочно могут достигать 1400-1600°C.

### **Проблемы определения прочности при растяжении УП на основе углеродных плетеных преформ**

Ильичев А.В.<sup>1</sup>, Евдокимов А.А.<sup>1</sup>, Михалдыкин Е.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГУП «ВИАМ», <sup>2</sup>АО «НИИГрафит», г. Москва

Проектирования современных строительных конструкций с уникальным комплексом упруго-прочностных свойств невозможно без введения новых материалов и применения новых конструкторских решений. Одним из перспективных направлений в области строительства является применение ПКМ. Они уже сейчас используются для внутреннего и внешнего армирования и усиления строительных конструкций. Широкое применение ПКМ в авиационной и космической технике доказало надежность создаваемых конструкций наряду с их низким удельным весом. Что оказалось весьма заманчиво для проектировщиков строительных конструкций. А наряду с быстро растущей номенклатурой армирующих наполнителей, с необходимой

пространственной ориентацией волокон в их структуре, открывается возможность создавать сложные и одновременно легкие конструкции отличающиеся высокой прочностью и низким коэффициентом использования материала.

На данный момент в ФГУП «ВИАМ», совместно с АО «НИИГрафит» ведутся работы по инновационному проекту строительства быстровозводимых арочных мостов с применением ПКМ. Для осуществления этого проекта изготавливаются углепластиковые пустотелые арочные элементы, которые уже на месте монтируются и заливаются бетоном, а затем покрываются профнастилом, гравием, дренажем и дорожной рубашкой. Данные арочные элементы выполнены из волокнистых углеродных плетенных преформ в виде рукава с непрерывным сечением заданного диаметра. Арочные элементы имеют довольно малый вес и легко доставляются и монтируются на месте строительства, что заметно снижает затраты на логистику и монтаж. Однако на стадии разработки при определении комплекса упруго-прочностных характеристик возникла проблема в оценке прочности при растяжении. Опытные образцы изготовленные из плетенных преформ испытанные согласно стандарту ГОСТ 25.601-80 не отражают модель напряженно-деформированного состояния материала в реальной конструкции. Так как угол плетения используемых преформ лежит под углом к оси приложения растягивающей нагрузки, а также за счет длинной рабочей зоны образца, в нем образуется сложно-напряженное состояние, при котором превалирует доля касательных напряжений сдвига. В результате действия таких напряжений материал сильно деформируется при небольших нагрузках и как следствие преждевременно разрушается. Но в реальной конструкции плетеная преформа в виде рукава имеет непрерывное сечение в трансверсальном направлении, поэтому и физико-механические свойства участка рассматриваемого арочного элемента будут сильно отличаться от характеристик, полученных на образцах согласно ГОСТ 25.601-80.

В качестве эксперимента были спроектированы образцы с уменьшенной длиной рабочей зоны, а их ширина наоборот была увеличена. Также дополнительно были изготовлены образцы с надрезами, обеспечивающие непрерывное расположение каждого единичного ровинга плетеной преформы в рабочей зоне (от одной захватной части до другой). Образец с надрезами максимально моделирует механическое поведение плетеной преформы в виде рукава при растяжении. По проведенным испытаниям были получены значения прочности, где для экспериментальных образцов без надразов значения на 50% (угол плетения преформы 30°), а для экспериментальных образцов с надрезами на 70% (угол плетения преформы 30°) выше значений, полученных на образцах изготовленных в соответствии с ГОСТ 25.601-80.

Таким образом, для проектирования изделий из пространственно-армированных наполнителей необходим комплексный подход с анализом реальной эксплуатации материалов и конструкций созданных из них. А также разработка новых стандартов для определения упруго-прочностных свойств ПКМ с различной пространственной ориентацией наполнителей.

## **Адгезионные свойства полимерных пленок, модифицированных в плазме ВЧ разряда**

Какушина Н.В.<sup>1</sup>, Шапагин А.В.<sup>2</sup>

Научный руководитель – Чалых А.Е.

<sup>1</sup> МАИ, <sup>2</sup> ИФХ РАН, г. Москва

Целью данной работы является установление влияния времени травления полимерных пленок в плазме высокочастотного (ВЧ) разряда на их адгезионные свойства. Исследования имеют принципиальное значение при выборе технологии соединения термопластов.

В качестве объектов исследования субстратов использовали полимерные пленки полиэтилена (ПЭ), полиэтилентерефталата (ПЭТФ), поливинилхлорида (ПВХ) и полиимида (ПИ) толщиной 50 – 74 мкм. В качестве тестовых адгезивов использовали: липкую ленту фирмы DielectricPolymers (с кремнийорганическим адгезивом), а также липкую ленту фирмы Unibob.(с синтетическим каучуком).

Поверхность образцов обрабатывали в плазме ВЧ воздушного разряда в вакуумной камере при давлении 0,09 мм. рт. ст. Частота генератора составляла 10 МГц, амплитуда напряжения – 1,2 кВ, длительность обработки – от 1 до 30 мин. Прочность соединения определяли при температуре 20 °С методом расслаивания под углом 90° (Т–методом) с использованием разрывной машины Zwick/RoellZ10.

Получены зависимости адгезионной прочности связи тестовых адгезивов и полимерных пленок от длительности травления пленок в плазме ВЧ разряда. Показано, что с увеличением времени травления происходит возрастание адгезионной прочности. Значения адгезионной прочности соотнесены с полученными ранее значениями поверхностной энергии субстратов подвергнутых травлению.

Получены АСМ-микротографии поверхностей полимерных пленок после расслаивания. Установлен тип разрушения адгезионных соединений: для системы полимерные пленки–кремнийорганический адгезив, вне зависимости от времени травления, характеризуются адгезионным разрушением; системы полимерные пленки–синтетический каучук – когезионным разрушением.

## **Оценка прочности отремонтированных образцов из углепластика после нанесения ударных повреждений**

Качарава И.Н., Титов С.А.

ФГУП «ЦАГИ», г. Москва

В современных условиях расширяющегося внедрения полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкциях летательных аппаратов, объем их изготовления остается незначительным. Обеспечение практического применения ПКМ в конструкции планера самолета связано с определением эффективных способов их ремонта в зависимости от уровня эксплуатационных и производственных повреждений, разработки соответствующих методик и технологического оснащения для проведения ремонтных работ.

Специалистами НТЦ НПК ФГУП «ЦАГИ» разрабатываются различные способы ремонта поврежденных зон конструкций из ПКМ. В частности, до

практического внедрения доведены способы ремонта с применением металлической или композитной вставки цилиндрической формы.

Предлагаемый способ ремонта заключается в установке металлической вставки, вклеенной в ремонтируемую зону, с предварительным натягом (прессовой посадкой).

Для определения диапазона рационального значения предварительного натяга проведен численный расчет эффективности ремонта композитной пластины с помощью металлической вставки в зависимости от величины посадки  $\Delta$  ( $\Delta = D - d$ , где  $D$  – диаметр вставки,  $d$  – диаметр отверстия выборки повреждения).

Дана расчетная оценка несущей способности панели, отремонтированной с помощью металлической накладки, с учетом явления потери устойчивости накладки.

При оценке несущей способности образца перед их испытаниями были использованы известные критерии прочности для композиционных материалов:

«Мизеса-Губера», «Цая-Хилла», «Максимальных напряжений».

В результате расчетной оценки прочности образца, установлена потенциальная возможность восстановления прочности до 70% от исходного уровня разрушающих напряжений.

Экспериментально подтверждены ожидаемые результаты расчета на уровне 40%, вместо ожидаемых 70% в расчете. Заниженный уровень восстановления прочности в эксперименте может быть связан с тем, что в расчетной модели не учтены возможность местной потери устойчивости волокна углепластика в зоне ремонта и наличие технологических дефектов, внесенных в образец во время его механической обработки.

В результате проведенных научно-исследовательских работ:

Получена методика оценки прессовой посадки  $\Delta$ [мкм], обеспечивающей максимальное восстановление прочности панели после ремонта, с помощью металлической вставки.

Проведена экспериментальная оценка предложенных конструктивно-технологических решений ремонта панелей, после нанесения ударных повреждений:

При ремонте с помощью закладной металлической вставки в зоне ремонта, возможно восстановление прочности панели практически до исходного состояния.

### **Модель развития дефекта на границе раздела фаз в стеклопластике на основе термопластичной матрицы, модифицированной наночастицами**

Козлова С.О.

Научные руководители – Салиенко Н.В.

МАИ, г. Москва

Модификация термопластичных матриц наночастицами силикатов в полимерных композиционных материалах (ПКМ) значительно увеличивает их жёсткость. При этом резко возрастает вероятность возникновения технологических дефектов – пор или трещин на границах раздела фаз и слоёв в ПКМ

В работе предложена модель ПКМ на основе непрерывных стеклянных волокон и полипроамидной матрицы, модифицированной слоистым алумосиликатом монтмориллонитом (ММТ). Модель содержит дефект в виде трещины на границе раздела волокно-матрица, которая растёт в результате развития деформаций. Наночастицы имеют пластинчатую форму толщиной 1 нм и длиной 70-150 нм.

Для описания поведения ПКМ при нагружении, в качестве базовой выбрана модель Розена, так как она наиболее полно описывает рассматриваемый в работе случай. В исследовательской части решены следующие задачи: сформулированы начальные и граничные условия, обоснованы допущения, построена физическая модель, выбран метод расчета, проанализированы полученные данные, проведена верификация модели на адекватность.

Методом конечных элементов (МКЭ) проведён анализ предложенной модели. Расчеты проводились с помощью программного комплекса ANSYS. Получены зависимости, характеризующие напряженное состояние ПКМ при различной степени деформирования. Анализ полей напряжений, возникающих в ПКМ при разрушении, показал, что модификация матрицы наночастицами позволяет достичь равномерного перераспределения напряжений, при этом нормальные и сдвиговые напряжения не превосходят свои предельные значения, а материал даже при разрушающих деформациях для волокна, сохраняет работоспособность. Это является следствием того, что на начальной стадии пластических деформаций в нанокompозите формируются микротрещины в матрице между стопками силикатных пластинок, которые затем выполняют роль стопперов, что приводит к значительному повышению трещиностойкости материала. Модель хорошо коррелирует с экспериментальными данными. Представленная модель может быть усовершенствована путем уточнения начальных условий, исключения допущений и оптимизирована путем варьирования параметров.

## **Применение объёмных текстильных преформ при изготовлении полимерных композиционных материалов**

Коротков И.А.

Научный руководитель – Донецкий К.И.

ФГУП «ВИАМ», г. Москва

Объемы применяемых полимерных композитных материалов (ПКМ) в мировой промышленности увеличиваются с каждым годом в десятки раз, материалы находят всё более широкие области и объемы применения. Применение ПКМ позволяет изготавливать детали с заданным уровнем прочностных свойств и при этом снизить массу производимых деталей по сравнению с массой аналогичных деталей выполненных из металла, придавать деталям необходимые физико-механические свойства в зависимости от условий эксплуатации, обеспечивать повышение срока эксплуатации по сравнению с традиционными конструкциями. Изделиям из ПКМ требуется минимальная механическая обработка, меньшая трудоемкость сборки, простые методы коррозионной защиты. Параллельно с развитием технологий по изготовлению новых, высокопрочных волокон, активно развиваются и текстильные

технологии, что в свою очередь привело к появлению новых армирующих систем и позволило применять их в производстве изделий из ПКМ на основе объёмных текстильных преформ, получаемых на современных ткацких станках. Достаточно долгое время изготовление деталей сложного профиля происходило на основе обычных двумерных систем в виде тканей или лент. Процесс получения изделий на основе двумерных систем происходит стандартными методами - ручная или автоматизированная выкладка с последующим формованием в автоклаве, пропиткой под давлением в стальной оснастке или пропиткой под вакуумом. Все эти методы требуют большой трудоёмкости по причине сложности раскроя наполнителей и необходимости применения ручного труда в областях сложных геометрических переходов изготавливаемых изделий. Возможным путем решения проблемы по снижению трудоёмкости и повышению стабильности свойств изделий из ПКМ является использование объёмных текстильных преформ, применение которых даёт возможность создавать изделия с поверхностью сложной формы за одну технологическую операцию - ткачество. Объёмные текстильные преформы могут иметь как округлые, так и граненые формы, включающие в себя выступающие элементы или углубления достаточно сложной геометрической формы, с вертикальными или наклонными поверхностями, включать закладные элементы, отверстия заданного диаметра и глубины.

### **Полиуретан-эпоксидные композиции: состав и свойства в исходном состоянии, в процессе отверждения и в отвержденном состоянии**

Кузнецова И.О.

Научный руководитель – профессор, д.т.н. Бабаевский П.Г.

МАИ, г. Москва

В настоящее время все большее внимание уделяется разработке и применению полимеров и полимерных композиционных материалов с эффектом памяти формы благодаря простоте их получения и формирования конструкций различного типа с необходимыми эксплуатационными характеристиками. Такими свойствами обладают в том числе материалы на основе полиуретан-эпоксидных композиций.

Целью данной работы являлось получение таких композиций с различным соотношением компонентов эпоксидиановой смолы и полиэфируретана, исследование свойств в исходном состоянии, в процессе отверждения и в отвержденном состоянии.

Объектами исследований служили полиуретан-эпоксидные композиции с различным соотношением эпоксидной смолы ЭД-20 и полиэфируретана (ПЭУ) на основе полиола-алифатически ароматического сложного олигоэфир (Владипол 3313) и полиизоцианата Воротек СД-100. При синтезе композиций количество ПЭУ варьировали в интервале от 10 до 20% масс. с сохранением эквивалентного соотношения олигоэфир-полиизоцианат. В дальнейшем полученные композиции отверждали с помощью изометилтетрагидрофталевого ангидрида.

Для характеристики свойств в исходном состоянии выбраны плотность, вязкость и химический состав. Измерение вязкости осуществлялось с помощью

ротационного вискозиметра Брукфельда при трех температурах, химический состав исходных композиций определяли по инфракрасным спектрам.

Свойства в процессе отверждения отслеживали по кинетическим кривым отверждения, полученным с помощью прямого крутильного маятника в изотермических условиях при температурах от 80 °С до 150 °С по изменению периода и амплитуды колебаний маятника. В качестве образцов использовали стеклянные нити, пропитанные отверждающимися композициями.

Свойства в отвержденном состоянии определяли, используя стеклопластики на основе разработанных связующих и стекловолокна марки Т-10ВМП, по изменению механических характеристик (модуля упругости  $E'$ , модуля потерь  $E''$  и тангенса угла потерь) при изменении температуры, полученным методом динамо-механического анализа с помощью анализатора в азотной среде. Из графиков температурной зависимости определили температуру стеклования отвержденных образцов.

В результате показано, что:

- плотность и вязкость полиуретан-эпоксидных композиций в исходном состоянии уменьшаются с уменьшением количества полиэфируретана по отношению к ЭД-20;
- в процессе отверждения время до гелеобразования уменьшается с уменьшением количества полиэфируретана по отношению к ЭД-20, энергия активации процесса отверждения композиций в зависимости от состава композиции так же менялась;
- в отвержденном состоянии температура стеклования увеличивается с уменьшением количества полиэфируретана по отношению к ЭД-20 смоле

## **Формирование структуры вторичного фторопласта-4 при взрывном прессовании**

Кумарова А.А.

Научные руководитель – Агафонова Г.В.

ВолгГТУ, г. Волгоград

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №15-43-02244

Благодаря высокой химической стойкости большинства полимеров они накапливаются в больших количествах и загрязняют окружающую среду, что способствует возникновению серьезной экологической проблемы утилизации полимерных отходов. Одним из важнейших вопросов является вторичная переработка фторопласта-4 (Ф-4), в виду узкого температурного интервала переработки, ограниченного температурой деструкции. Перспективным методом вторичной переработки Ф-4 является взрывное прессование (ВП), при котором происходит образование прочных связей между частицами полимера в результате активации их поверхностей с одновременным сближением до расстояний межмолекулярного взаимодействия.

Исходным материалом для исследования являлась стружка Ф-4, полученная при механической обработке промышленных заготовок. Получение прессовок осуществлялось взрывным прессованием в цилиндрической ампуле при давлениях 0,2-0,8 ГПа. Спекание полученных заготовок проводилось при температуре 370-380 °С с выдержкой 10 мин на 1 мм толщины образца.

Исследование структуры вторичного Ф-4 осуществлялось методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре ДРОН-3 в излучении медного анода.

Результаты исследований показали, что после ВП сохраняется аморфно-кристаллическая структура Ф-4 с высокой степенью кристалличности (63-76 %). Повышение давления ВП приводит к уменьшению степени кристалличности Ф-4 с 72-76 % до 64 %, причем более значительное её снижение наблюдается при  $P=0,8$  ГПа, что вызвано интенсификацией дробления кристаллитов. Взрывное воздействие при всех давлениях ВП не изменяет межслоевое расстояние, характерное для аморфных областей, и оно составляет  $\text{Сам}=0,51-0,52$  нм.

Повышение давления ВП с 0,2 ГПа до 0,8 ГПа приводит к монотонному уменьшению параметров  $a$  и  $c$  гексагональной решетки вторичного Ф-4. Причем период решетки  $a$  изменяется незначительно и остается практически на одном уровне, а период  $c$  изменяется более значительно и уменьшается с 1,945 нм до 1,893 нм при  $P=0,8$  ГПа, что может привести к увеличению жесткости молекулярной цепи. Увеличение давления ВП способствует незначительному росту физического уширения рентгеновских линий  $\beta$  с 2,8 до 3,6 мрад. Причем изменения  $\beta$  вызваны в большей части деформацией элементарной ячейки ПТФЭ  $\Delta d/d$ , а существенное уменьшение размера кристаллитов  $D$  с 47,7 до 38,2 нм наблюдается лишь при максимальном давлении ВП. Прессование более низким давлением уменьшает  $D$  вторичного полимера всего на 5-15% от исходной стружки.

В работе была рассмотрена возможность получения материала из стружки фторопласта-4 с помощью взрывного прессования. Изучено влияние давления взрывного прессования на параметры кристаллической структуры вторичного полимера. Установлено, что повышение давления ВП с 0,2 до 0,8 ГПа приводит к более интенсивному разрушению кристаллических участков ударной волной и повышению дефектности кристаллической структуры вторичного полимера.

### **Полимерные композиционные материалы нового поколения для применения в мотогондолах двигателей**

Курносов А.О., Мельников Д.А., Соколов И.И.

Научный руководитель – Раскутин А.Е.

ФГУП «ВИАМ», г. Москва

В конструкции современных летательных аппаратов широко применены полимерные композиционные материалы (ПКМ). Так, разработанная ОАО «Авиадвигатель» конструкция мотогондолы двигателя ПД-14, предусматривает широкое (более 60% масс.) применение ПКМ, обеспечивающих снижение веса конструкции при сохранении требуемых упруго-прочностных характеристик. Обеспечение заданных характеристик семейства двигателей ПД-14, конкурентоспособного на мировом рынке, требует разработки и внедрения новых материалов и технологий, обеспечивающих ресурсное проектирование и изготовление деталей авиационного двигателя, в том числе мотогондолы с применением ПКМ.

В ВИАМ разработан ассортимент стекло- и углепластиков на основе эпоксидного расплавленного связующего ВСЭ-1212, не содержащего органических

растворителей, что позволяет минимизировать образование газообразных продуктов в процессе формования, и тем самым снизить пористость ПКМ и повысить упруго-прочностные характеристики [1]. Благодаря отказу от работы с экологически опасными растворителями снижается количество выделяемых в атмосферу вредных веществ. Такой подход требует использования специализированного оборудования для производства препрегов – современных пропиточных установок, позволяющих изготавливать препреги с минимальным разбросом содержания связующего, отличающегося от номинального не более чем на 2%. Следует отметить, что созданное в ВИАМ производство препрегов является первым сертифицированным производством препрегов в РФ [2].

В рамках общей квалификации разработанных стекло- и углепластиков (ВПС-48/7781, ВКУ-39, ВКУ-29, ВКУ-25) проведены всесторонние исследования прочностных и эксплуатационных характеристик материалов после воздействия различных температур, повышенной влажности, а также агрессивных сред. Анализ свойств разработанных ПКМ показал, что данные материалы обладают высоким уровнем физико-механических и эксплуатационных характеристик, устойчивы к воздействию неблагоприятных эксплуатационных факторов, технологичны, а также являются конкурентоспособными на мировом рынке [2].

Стеклопластик ВПС-48/7781 используют при изготовлении узлов реверсивного устройства, воздухозаборника и корпуса переднего мотогондолы двигателя ПД-14, а также в качестве изолирующего слоя в зоне контакта металл-углепластик [3]. При изготовлении деталей конструкционного назначения, в том числе створок капота, обтекателя пилона и узлов реверсивного устройства применяют углепластики ВКУ-39, ВКУ-29, а также углепластик марки ВКУ-25 предназначенный для автоматизированной выкладки.

#### Список литературы

Соколов И.И., Вавилова М.И. Конструкционные стеклопластики на основе расплавных связующих и тканей Porcher //Новости материаловедения. Наука и техника. 2013. №5. Ст. 02 (materialsnews.ru).

Раскутин А.Е., Соколов И.И. Углепластики и стеклопластики нового поколения //Труды ВИАМ. 2013. №4 (viam-works.ru).

Курносоев А.О., Мельников Д.А., Соколов И.И. Стеклопластики конструкционного назначения для авиастроения //Труды ВИАМ. 2015. №8 (viam-works.ru).

### **Изготовление углепластиков на основе порошкового термостойкого связующего**

Кучеровский А.И., Зеленина И.В., Гуляев И.Н.  
ФГУП «ВИАМ», г. Москва

Полимерные композиционные материалы (ПКМ), в частности углепластики, используются не только в планере летательных аппаратов, но и в авиационных и вертолетных двигателях. Из-за повышенных температур эксплуатации двигателя, требуются композиционные материалы с повышенной термостойкостью. Для создания термостойких ПКМ требуются тепло- и термостойкие армирующие наполнители и полимерные связующие на основе бис-малеинимидов, термостойких полиимидов, фталонитрильных смол.

Наиболее перспективными являются ПКМ на основе фталонитрильных связующих. Фталонитрилы являются негорючими материалами, имеют высокие прочностные свойства и малое водопоглощение. Во ФГУП «ВИАМ» разработано новое термостойкое термореактивное фталонитрильное связующее марки ВСН-31, выпускаемое в виде однородного порошка и позволяющее создавать углепластики на рабочую температуру 300-350 °С.

Отличительной особенностью связующего ВСН-31, является его ограниченная растворимость в традиционных растворителях (спирт, ацетон), что делает невозможным получение препрега по традиционной растворной технологии.

Существует несколько способов переработки порошковых связующих. Широко используется способ получения ПКМ, включающий изготовление препрега посредством напыления связующего на углеродный наполнитель в электростатическом поле с последующим оплавлением. Еще одним известным способом является напыление связующего на горизонтально расположенный наполнитель так же с последующим оплавлением. Существенным недостатком вышеописанных способов является большая потеря связующего в процессе изготовления препрега, а изготавливаемый такими способами препрег получается жестким, не липким, и не подходит для выкладки криволинейных элементов и сложнопрофильных изделий, однако пригоден для изготовления плоских панелей больших размеров.

Нами разработана технология получения термостойких углепластиков на основе порошкового связующего ВСН-31 методом вакуумной пропитки сухого пакета углеродной ткани, которая может использоваться как для изготовления сложнопрофильных изделий, так и для изготовления плоских панелей. Предлагаемый способ состоит из нескольких технологических операций: раскрой ткани и сборка сухого пакета; сборка вакуумного мешка и вакуумная пропитка связующим ВСН-31; формование углепластика из пропитанной заготовки и его термообработка. Особенности связующего ВСН-31 позволяют проводить технологические операции изготовления углепластика с достаточно большими временными перерывами. Низкая вязкость расплава связующего и длительное время желатинизации при температуре 200°С позволяют качественно провести процесс пропитки.

Рассмотренные способы получения углепластика на основе порошкообразного термостойкого связующего ВСН-31 позволяют получать материал с высоким уровнем физико-механических свойств. Кроме этого технология получения углепластиков на основе порошкового связующего ВСН-31 методом вакуумной пропитки позволяет без дополнительной механической обработки изготавливать сложнопрофильные изделия с температурой эксплуатации до 350 °С. Этот метод позволяет точно задавать соотношение компонентов углепластика, что существенно снижает расход порошкового термостойкого связующего ВСН-31.

## **Особенности смачивания и растекания каплями жидкости неоднородно нагретых поверхностей различной морфологии**

Лашков И.А.

Научный руководитель – Дмитриев А.С.

МЭИ, г. Москва

В настоящее время хорошо исследованы смачиваемость и растекание каплями различных жидкостей химически неоднородных и морфологически неоднородных поверхностей лишь с постоянными температурами [1-3]. Однако недостаточно изучена проблема стекания капель жидкости по неоднородно нагретым подложкам различной морфологии, в том числе неоднородной морфологии с мезоскопическими или наноскопическими слоями. В данной работе создан экспериментальный стенд для исследования стекания капель различных жидкостей, включая воду, изооктан, спирт, органические и биоорганические жидкости по неоднородно нагретым поверхностям с разными морфологиями. Капли исследуемых жидкостей с помощью специальных насадок опускаются на горизонтальные или наклонные (с контролируемым углом) поверхности, на которых имеются структуры с мезоскопическими или наноскопическими слоями различной морфологии. Подложка подвергается неоднородному нагреву, в том числе с помощью инфракрасного источника излучения. Контактные углы измеряются с помощью установки EasyDropKrus, а системы нагрева сконструированы и изготовлены самостоятельно. В качестве подложек использованы подложки из алюминия, кремния, никеля, металлооксидной керамики различной морфологии, а также подложки, на поверхности которых имеются микросферы различных материалов с неоднородностями различного масштаба (от десятков до сотен микрометров). Кроме того, исследуются подложки с наномасштабными компонентами на базе углеродной сажи, углеродных нанотрубок, графена и графеновых пеллет.

Целью экспериментов является определение переднего и заднего углов смачивания капель различных жидкостей при разных наклонах поверхности и при разных температурах, включая температуру, превышающую точку Лейденфроста, при которой происходит плёночное кипение капель. Именно в последнем случае появляются особенности поведения капель по сравнению с горизонтальными поверхностями или с поверхностями, имеющими макроскопические неоднородности. Основные параметры измерений: температура подложки, характерные химические и морфологические неоднородности, а также характерные углы смачивания. Кроме того, исследуются зависимости динамики капель различных жидкостей на перегретых поверхностях от неоднородности их нагрева.

Данная работа позволяет найти способ решения проблемы систем охлаждения микро – и оптоэлектроники на основе микрокапельных и струйных систем, которая в значительной степени влияет как на рабочие параметры таких устройств, так и на энергоэффективность охлаждения и отвод избыточного тепла.

Список литературы:

Дмитриев А.С. Введение в нанотеплофизику. Изд. БИНОМ. Лаборатория знаний. М. 2014. 736 с.

VerplanckN., CoffinierY., ThomyV. et al. Wettability Switching Techniques on Superhydrophobic Surfaces. Nanoscale Res. Lett. 2: 577–596. 2007.

MarmurA..From Hygrophilic to Superhydrophobic: Theoretical Conditions for MakingHigh-Contact-Angle Surfaces from Low-Contact-Angle Materials. Langmuir. 24. 7573-7579. 2008.

## **Технология пространственно-армированных композиционных материалов (ПАКМ) с предварительным уплотнением преформы**

Лебедев А.К.

Научный руководитель – Бухаров С.В.

МАИ, г. Москва

Заготовки ПАКМ с расчётной пространственной схемой армирования формируются в жёсткой формообразующей оснастке методом пропитки под давлением низковязким термореактивным связующим с последующим отверждением. Изделие получается механической обработкой полученной заготовки.

Схема нагружения изделия и результаты прочностных расчётов определяют схему армирования последовательно уплотняемого слоистого каркаса. Форма слоистого каркаса может быть разнообразной. Главное условие обеспечения качества при сборке – гарантия послойного уплотнения пакета-заготовки при выкладке.

Проведены работы по отработке сборки плоских пакетов-заготовок и изделий одинарной кривизны: плита, цилиндр, сектор. Собранный уплотнённый пакет фиксируется рамкой-приспособлением или сшивается.

Уплотнённый слоистый пакет прошивается армирующими нитями. Прошивка производится сложенной вдвое жгутом с образованием петли на обратной стороне пакета. Координаты ввода нити с одной стороны и петли с другой позволяют оценить точность позиционирования армирующих элементов. Армирование возможно как по нормали к поверхности, так и под заданным углом. Плотность преформы за счёт армирования повышается на величину до 10% при сохранении начального объёма.

Обеспечение качественной пропитки и расчёта режимов формования – задача моделирования, решаемая современными программными методами. Качество пропитки определяется распределением пористости и зависит от скорости распространения фронта пропитки. При превышении расчётной скорости межнитяная пропитка осуществляется быстрее межволоконной, что приводит к образованию микропористости до 2% по объёму. При недостаточной скорости фронта пропитка идёт под действием, в основном, капиллярных сил, что приводит к образованию макропористости – образующиеся воздушные включения невозможно удалить, только уменьшить в размере пропорционально повышая давление формования. Макропористость из-за недостаточной скорости распространения или при столкновении фронтов пропитки может достигать 7% по объёму.

В толстостенных конструкциях из ПКМ возникают остаточные напряжения из-за неравновесной структуры наполнителя и неравномерного отверждения связующего в объёме заготовки. Современные полимерные связующие,

применяемые при изготовлении крупногабаритных объёмных изделий методами пропитки под давлением чувствительны к температурным режимам и обладают пониженным тепловыделением. При формовании толстостенных материалов с низкой теплопроводностью этот параметр является наиболее значимым при расчёте остаточных напряжений в заготовке. Другой проблемой является разница КЛТР оснастки и материала. Использование неметаллической оснастки решило бы проблему КЛТР, но при её использовании проблема отвода тепла, образующегося в результате процесса полимеризации, становится практически нерешаемой.

### **Компьютерная микротомография – неразрушающий метод исследования углерод-углеродных композиционных материалов**

Максимова Д.С.

Научный руководитель – Колесников С.А.

МАИ, г. Москва

В настоящее время композиционные материалы успешно заменяют традиционные материалы в элементах конструкций авиационной, ракетной и космической техники. В условиях нестационарного термического воздействия и стабильно высоких температур наиболее эффективно применение композиционных материалов, матрица и армирующие элементы которых являются углеродными.

Одним из современных методов неразрушающего контроля углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ) является компьютерная микротомография. Компьютерная микротомография – неразрушающий метод контроля и визуализации трехмерной внутренней микроструктуры объектов с использованием рентгеновского излучения, обладает высоким пространственным разрешением и после сканирования полностью сохраняет образец для других видов исследований.

Работа микротомографа заключается в следующем: микрофокусная рентгеновская трубка освещает объект, а рентгеновская камера получает его увеличенные проекции. На основе сотен проекций, собранных под разными углами при вращении объекта на подвижном объектном столике, компьютер реконструирует набор виртуальных сечений объекта. Оператор имеет возможность просматривать сечение за сечением, получать сечения под любым углом, числовые характеристики трехмерной внутренней микроструктуры объекта по всему объему или выделенной области и создавать трехмерные модели микроструктуры для виртуального перемещения внутри объекта исследования.

Целью данной работы являлось определение влияния температуры термической обработки УУКМ четырехмерного армирования, на основе углеродной нити из полиакрилонитрильного волокна и углеродной матрицы из кокса каменноугольного пека, на пористость материала, а так же визуализация его внутренней микроструктуры.

Исследования проводились с помощью микротомографа SkyScan 1272, который имеет 16-ти мегапиксельную охлаждаемую рентгеновскую камеру, позволяющую поддерживать реконструкции виртуальных сечений размером

14450x14450x2630 пикселей, что дает разрешение до 350 нм. Максимальная длина объекта для размещения в сканере - 100 мм, максимальная длина области сканирования – 75 мм.

Были исследованы образцы теплозащитного УУКМ марки КМ-ВМ-4Д различной формы, которые прошли высокотемпературную обработку при температурах 2200, 2400, 2600 и 2800 °С. Получены данные об общей, открытой и закрытой пористости исследованных образцов и трехмерная визуализация их микроструктуры, свидетельствующие о заметном влиянии температуры термической обработки материала на его пористую структуру.

### **Реологические свойства дисперсий на основе эпоксидного олигомера и нанонаполнителей**

Микаилова С.М., Пыхтин А.А.

Научный руководитель – Суриков П.В.  
МТУ г. Москва

Одним из важнейших параметров, определяющих технологию производства современных изделий из полимерных композиционных материалов, является вязкость связующего. Вязкость связующего определяет возможность формования изделий из композиционных материалов, как при заполнении формы, так и пропитке армирующих волокон. Основу связующего композиционного материала составляют реакционноспособные олигомеры, в частности, эпоксидные. В последнее время, для повышения физико-механических характеристик композиционных материалов их полимерную матрицу модифицируют введением различных нанодисперсий. Частицами дисперсий таких модифицирующих наполнителей могут быть углеродные нанотрубки, фуллерены, графены, технический углерод и т.д. Таким образом, исследование реологических свойств дисперсно-наполненных олигомеров, в том числе, и олигомеров с дисперсиями наноразмерных частиц является актуальной задачей.

В качестве связующего в данном исследовании был выбран эпоксидный олигомер DER-330 (DowChemicals). Дисперсную фазу с частицами нанометровых размеров и различным химическим составом составили: белая сажа, многослойные углеродные нанотрубки и технический углерод (сажа) в концентрациях от 0,0025 до 1 % (объемных). Измерения вязкости проводили на ротационном вискозиметре «BrookfieldR/Splus» при температурах 20 и 40°C и 60°C.

Известно, что теоретическая зависимость вязкости дисперсий от объемного содержания частиц при низких концентрациях является линейной функцией (уравнение Эйнштейна). Результаты исследования показали, что в случае частиц нанометрового размера это соотношение не соблюдается. Анализ экспериментальных данных показал немонотонные зависимости вязкости исследованных систем от концентрации дисперсной фазы. Наблюдается как рост вязкости от содержания дисперсной фазы, что вполне естественно, так и падение с образованием локальных минимумов. Причем, подобный вид зависимостей характерен для всех исследованных типов наночастиц, что позволяет сделать вывод о преобладающем вкладе именно их нанометрового

размера. Особенно интересным является появление минимумов вязкости, лежащих ниже вязкости исходного олигомера.

Для объяснения подобного поведения нанодисперсий необходимо привлечь коллоидно-химические представления. Возможным объяснением может быть повышенная поверхностная энергия наночастиц, приводящая при увеличении содержания наночастиц к образованию агломератов. Поскольку агломераты по размерам превышают размеры наночастиц, зависимости вязкости от содержания наполнителя становятся немонотонными. Падение же вязкости дисперсий ниже вязкости дисперсионной среды возможно связано с адсорбцией молекул олигомера на поверхности наночастиц. При малых концентрациях наночастиц формируются «кластеры», состоящие из наночастицы с адсорбированными на поверхности молекулами олигомера. Наличие таких образований приводит к формированию областей с повышенной плотностью, содержащих «кластеры», и областей с более низкими плотностью и вязкостью.

### **Разработка метода ремонта крепежных отверстий в изделиях из углепластика с помощью установки стеклопластиковой втулки**

Насонов Ф.А.

Научный руководитель – Бухаров С.В.

МАИ, г. Москва

Широкое применение в авиационной промышленности изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) и при этом их относительно высокая стоимость вынуждают иметь на вооружении и изыскивать новые эффективные методы ремонта дефектов, чтобы применять их в обоснованных случаях при восстановлении изделий. В авиационной технике широко применяется сборка узлов и агрегатов из композитов с помощью болтовых и заклепочных соединений, требующая выполнения отверстий для крепежа. При этом необходимо предусмотреть эффективные способы ремонта зоны, непосредственно примыкающих к крепежу, а также дефектов, которые могут появиться вследствие установки крепежа (с отклонениями от техпроцесса) и его эксплуатации в составе всего изделия.

Предложен метод ремонта дефектов крепежных отверстий в изделиях из углепластика с помощью установки ремонтной стеклопластиковой втулки. Показана реализуемость технологического процесса термокомпрессионного формования втулки по месту ремонта. Для последующей проработки предлагаемого метода ремонта, определения диапазона возможностей метода, а также выработки подходов для проектирования техпроцессов ремонта изделий из ПКМ в настоящей работе рассмотрены результаты анализа напряженно-деформированного состояния зоны вблизи крепежного отверстия: для случаев условно бездефектного отверстия, отверстия с дефектом в виде зарождающейся трещины и отверстия с установленной ремонтной втулкой.

Одной из причин активного использования методов механики разрушения при расчетах КМ-конструкций с отверстиями и вырезами стала невозможность объяснения некоторых экспериментально полученных и многократно подтвержденных фактов традиционными методами механики деформируемого тела [1]. Так значение эффективного ККН даже при практически линейном

поведении композита оказывается значительно ниже теоретического ККН (рассчитанного с помощью теории упругости анизотропного тела). упругий анализ, учет изменения формы отверстия вследствие деформирования не дают объяснения такому поведению [1].

В дальнейшем планируется изучения эффекта дорнирования и рассмотрение задачи Бови (моделирование повреждения фиктивной трещиной) [1, 2] для крепежного отверстия в углепластике, с зародившейся вблизи него трещиной и ее решения при установке стеклопластикового цилиндрического стоппера [3] (ремонтной втулки).

Список использованных источников

1 Практическая механика разрушения: уч.пос./П.И.Котов, А.В.Зинин, С.В.Сухов. – М.: МАТИ, 2012, Т. 2

2 Савин Г.Н. Распределение напряжений около отверстий. – Киев: Наукова думка, 1968

3 Инженерная методика проектирования авиационных конструкций из КМ (обобщение 20-ти летнего практического опыта)/Н.Новгород, 1997

## **Исследование реологических свойств трубных марок полиэтилена в режиме предплавления**

Никитина А.В.

Научный руководитель – Кулезнев В.Н.

МИТХТ, г. Москва

Полиэтилен благодаря своей долговечности и стойкости к различным видам коррозии является одной из наиболее перспективных замен традиционным трубам из стали, чугуна, бетона и керамики в трубопроводах различного назначения. В связи с этим разработка способа сравнения реологических свойств трубных марок полиэтилена - очень актуальная и практическая задача.

Важнейшим показателем долговечности полимерных труб является сопротивление медленному распространению трещин (ESCR), за которое по данным [1-4] отвечает сетка зацеплений аморфной фазы, которая, в свою очередь, состоит из проходных молекул и свободных цепей. Ранее метод ступенчатого нагружения применялся для исследования деформации трубных марок ПЭ до предела текучести, где также был сделан вывод о том, что за характер деформации отвечают проходные молекулы. Модернизированный метод позволяет производить ориентационную вытяжку образцов полимеров до  $\lambda$  10-12 при ступенчатом нагружении при 80 °С. Это позволит дать оценку, исследуемым в этой работе маркам полиэтилена с разной минимальной длительной прочностью (MRS) и, соответственно, разной надмолекулярной структурой, по сопротивлению медленному распространению трещин по аналогии с ISO/DIS 18488, 2014. [5] Преимуществом нового способа является возможность проводить испытания без использования сложного и тяжелого оборудования, а также выработанная стандартная методика для всех исследованных марок полиэтилена дает возможность провести быстрый сравнительный анализ.

Испытания проводили на образцах ПЭ марок: Hostalen 4731b, Dowlex 2388 (ПЭ-100RC), PE-4PP25 (ПЭ-80) и ПЭВП 273-79 (ПЭ-63), полученных

прессованием при 185 °С под давлением 85 атм в листы толщиной 0,25±0,02 мм. Из листов вырубали лопатки с рабочим участком 20x4 мм, которые подвергались релаксации при 120 °С в течение 20 часов. Исследование проводили при температуре 80°С согласно [5] в подогреваемой ванне, заполненной силиконовым маслом. Регистрирование изменения деформации образца во времени осуществлялось с помощью модернизированного программного обеспечения, которое позволило регистрировать большие деформации, и считывающего устройства на основе шариковой мыши, разработанного на кафедре ХТППиПК.

Результатом испытания на растяжение является кривая деформация - время, которая может быть преобразована, с учетом увеличения нагрузки, в кривую напряжение – деформация, которую, в свою очередь, преобразуют в зависимость истинного напряжения от истинной деформации. Затем в соответствии с [5] рассчитывается модуль деформационного упрочнения материала  $G_R$  в диапазоне  $\lambda$  8-12. Величина модуля деформационного упрочнения является качественной и количественной характеристикой способности ПЭ к сопротивлению медленному распространению трещин.

[1] L.Kureles, M.Teeuwen, H. Schoffeleers, R. Deblieck, Polymer 2005, v. 46, p. 6369-6379

[2] S. Pemberton, D. Chrystie-Lowe, S. Rafiq, K. Modelska, E. Ingham, proceedings of the 17th Plastic Pipes Conference PPXVII, 2014

[3] M. McCarthy, R. Deblieck, P. Mindermann, R. Kloth, L. Kurelec, H. Martens, Plastic Pipes XIV, Budapest, Hungary, 22-24 Sept 2008.

[4] T. Kuipers, Analysis of the Strain Hardening test for polyethylene, Master thesis, Utrecht University, 2014

[5] Polyethylene (PE) for piping systems- Determination of Strain Hardening Modulus in relation to slow crack growth – Test method, ISO/DIS 18488, 2014

### **Использование программы «EduPack» при выборе полимеров для труб горячего теплоснабжения**

Ниязов Р.В., Подъяпольская Е.В.

Научный руководитель – Черноглазова А.В.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

В работе большое внимание уделено исследованию возможности замены стальных труб с тепловой изоляцией на трубы из полимерных материалов. Рассмотрен ряд мероприятий, позволяющих подобрать нужный материал, провести сравнительные расчеты на прочность и экономическую целесообразность.

Для обеспечения теплоснабжения используются стальные трубы с тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке., изготовленные согласно ГОСТ 30732-2006. Труба рассчитана на параметры теплоносителя с рабочим давлением не более 1,6 МПа и температурой не более 140°С.

В работе исследуется возможность замены стальных труб с тепловой изоляцией на трубы из полимерных материалов.

Для замены труб горячего теплоснабжения стандартной комплектации, включающих изоляцию из ППУ, трубу-оболочку, стальную трубу, на трубу из

полимерного материала необходимо осуществить мероприятия по выбору материала. Провести сравнительные расчеты на прочность и экономическую целесообразность.

При решении задачи по выбору материала была использована программа «EduPack», которая содержит большую базу данных и позволяет найти информацию о материалах, о его свойствах, производителях и стоимости на мировом рынке.

Данный программный продукт предоставлен кафедре Материаловедения, сварки и производственной безопасности КНИТУ-КАИ в образовательных целях в рамках проекта TEMPUS MMATENG для активной интеграции нашего университета в европейскую систему образования Болонского процесса.

Расчет долговечности и прочности труб и фасонных изделий проводили по стандартным методикам (ГОСТ 14249-69), используемым в теплоснабжении.

Анализ свойств полимерных материалов, позволил выбрать PES - полисульфон (ПСН-М), так как он имеет рабочую температуру 160°C, в то время как по ГОСТу требуется 140°C, и предел прочности при растяжении 400 кг/см<sup>2</sup>.

Для трубы, изготовленной из ПСН-М предел прочности при растяжении будет равен 6,5 – 109,49 кг/см<sup>2</sup>, в зависимости от диаметра 26 – 1396 мм.

Расчет показал, что с учетом коэффициента запаса прочности (n) равным 2 предел прочности при номинальной (расчетной) толщине стенки 1,04мм составляет 6,5 кг/см<sup>2</sup>, а при 54,76 мм составляет 109,49 кг/см<sup>2</sup>, в то время как в справочнике предел прочности полисульфона равен 400 кг/см<sup>2</sup>.

Расчеты по экономической целесообразности для труб и фасонных изделий проводим с учетом стоимости материалов, потребных на изготовление единицы продукции. Для этого определяем объем материалов погонного метра трубы и с учетом его стоимости, экономиию.

Следовательно, по прочностным характеристикам ПСН-М подходит и может заменить композитную трубу с металлической трубой на трубу, изготовленную полностью из ПСН-М.

## **Метод когезионной зоны в оценке межслоевой трещиностойкости слоистых композитов**

Новиков Г.В.

Научные руководители – Салиенко Н.В., Бабаевский П.Г.

МАИ, г. Москва

Трещиностойкость полимерных композиционных материалов является одной из основных характеристик, определяющей работоспособность и герметичность конструкций. Одним из основных недостатков получаемых конструкций из ПКМ является легкость их локальной статической и усталостной повреждаемости различного масштаба, в первую очередь, отслоений и расслоений элементов конструкций как на стадии производства, так и при эксплуатации при растяжении, сжатии, продольном или поперечном изгибе конструкции под действием аэродинамических сил или локальных ударных нагрузок, что приводит к снижению усталостной и остаточной прочности, живучести и заданных ресурсных характеристик конструкций.

Для создания ответственных силовых элементов авиаконструкций по условиям устойчивости к повреждениям, усталостной и остаточной прочности, живучести и заданных ресурсных характеристик необходима комплексная расчетно-экспериментальная методология оценки их сопротивления возникновению отслоений и трещин, их критического и докритического роста (трещиностойкости) при статических и усталостных нагрузках.

Классические аналитические методы макромеханики трещин базируются на анализе баланса энергии и распределения напряжений при нагружении однородного (изотропного) линейно-упруготвердого тела с заданной трещиной до начала (инициирования) ее равновесного обратимого роста, и определении, соответственно, энергетических и силовых параметров трещинодвижущих сил и трещиностойкости с учетом геометрии тела и трещины и упругих свойств.

В настоящее время одним из основных инструментов численного решения разнообразных задач моделирования роста трещин, является метод конечных элементов. При этом использование программных элементов, основанных на модели когезионных зон (CZM), позволяет определить условия не только роста трещины, но и зарождения трещины в местах концентраций напряжений.

Методом конечных элементов с использованием программного комплекса Ansys построена и исследована 2D модель зарождения и развития трещины с применением методики когезионных зон. Полученные результаты позволяют определить момент зарождения дефекта на границе раздела волокно-матрица или в межволоконном матричном пространстве (поперечный рост дефекта), и закономерности его развития в зависимости от свойств компонентов входящих в состав композита и прилагаемой нагрузки. Модель хорошо коррелирует с экспериментальными данными и может быть усовершенствована путем исключения допущений и упрощений, и переходом от 2D модели к 3D модели.

### **Влияние макромолекулярных характеристик исходных компонентов на структуру и свойства привитых сополимеров хитозана с олиголактоидом**

Порицкая А.Ю.

Научный руководитель – Демина Т.С.

РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва

Комбинирование перспективных свойств полимеров в единой макромолекуле за счет их сополимеризации позволяет не только объединить их преимущества, но и существенно расширить диапазон технологических приемов, доступных при формовании из них материалов. Например, получение сополимеров на основе природного гидрофильного хитозана и синтетического гидрофобного олиго/полилактида позволяет получать амфифильные макромолекулы, которые имеют сродство не только к водным, но и к органическим средам и могут применяться для получения материалов в биомедицине, т.к. оба исходных полимера биосовместимы и биодegradуемы. В литературе описано получение методом твердофазного синтеза сополимеров хитозана с короткими (степень полимеризации (СП) < 10) и высокомолекулярными (СП > 2000) цепями

олиго/полилактидов, а так же показана их перспективность для получения материалов с использованием различных технологических приемов.

В работе методом твердофазного синтеза под действием давления и сдвиговых напряжений в полупромышленном двухшнековом экструдере “Berstorff ZE-40” (Германия) получены сополимеры хитозана с олиголактидами с молекулярной массой (ММ) 5 кДа (СП ~ 70). Для исследования влияния макромолекулярных характеристик исходных компонентов синтез осуществляли с использованием образцов хитозана с разной ММ и степенью деацетилирования (СД), а также олиголактиды с разным стереохимическим составом. В работе использовали хитозан, полученный методом твердофазного синтеза в ИСПМ РАН г. Москва (ММ 60 кДа, СД 0.9) и хитозан фирмы Сонат (Россия) с ММ 300 кДа и СД 0.85; образцы олиго(L,L-/D,L-лактида) были предоставлены к.х.н. Истоминым В.А. (ВИАМ). Синтез осуществляли при различных соотношениях компонентов и температуре соэкструдирования.

Исследование полученных сополимеров показало, что выход продуктов реакции варьируется в пределах 42-80 мас.%. Увеличение температуры соэкструдирования и времени обработки приводит к уменьшению относительного количества прореагировавшего олиголактида, что может быть связано с интенсификацией процесса аминолита сложноэфирных групп олиголактида аминогруппами хитозана и, соответственно, увеличению степени замещения, но снижению СП привитых цепей олиголактида. При этом сополимеры образуют стабильные дисперсии в хлороформе, традиционно используемом растворителе для олиго/полиэфиров, что для немодифицированного хитозана не характерно. Соплимер хитозана с олиго(D,L-лактидом) образует более стабильные дисперсии в хлороформе, чем образцы с олиго(L,L-лактидом). Наряду с появлением у сополимеров средства к органическому растворителю, их растворимость в кислых водных средах, традиционном растворителе для хитозана, снижается и процент нерастворимой фракции достигает 61 мас.% для образца хитозана с олиго(D,L-лактидом). Поведение растворов сополимеров также исследовали методом УФ-спектрофотометрии.

Сополимеры использовали для получения методом «масло в воде» инъектируемых клеточных микроносителей в виде сферических микрочастиц. Благодаря амфифильным свойствам сополимеров удалось модифицировать ими фазу органического растворителя и получить, таким образом, микрочастицы без использования эмульгатора в водной фазе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (15-02-06233 А).

### **Разработка композиционного материала на основе эпоксидного олигомера марки DER-330 наполненного углеродсодержащим наномодификатором**

Пыхтин А.А., Чемодуров В.А.

Научный руководитель – Суриков П.В.

МТУ, г. Москва

В настоящее время полимерные композиционные материалы (ПКМ) нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. Их используют в

строительной, приборостроительной, авиа- и космической промышленности. При разработке изделий или конструкционных элементов с применением ПКМ одной из важных задач является надежное прогнозирование прочностных характеристик материалов и их устойчивость к внешним нагрузкам. В авиационной и космической промышленности в качестве связующего для создания деталей корпуса и закрылков используют реактопласты. В качестве основы в подобных ПКМ часто используют эпоксидные олигомеры. Одна из главных проблем при изготовлении изделий из угле- и стеклопластиков заключается в том, что прочность полимерной матрицы на несколько порядков ниже, чем прочность волокон и ровингов, поэтому повышение прочности и стойкости к удару является одной из главных целей при разработке связующего. Для повышения физико-механических характеристик в последнее время используют различные наномодификаторы, такие как углеродные нанотрубки, нановолокна, фуллерены, графены, наносажи и т.д.[1-3]. В качестве объектов исследования в нашей работе были выбраны эпоксидный олигомер (ЭО) марки DER-330 (DowChemicals), углеродсодержащий наномодификатор марки «Углерон С» (ТУ 2166-049-91957749-2011), активный разбавитель ДЭГ-1 (диглицидиловый эфир диэтиленгликоля, DowEuropeGmbH). В качестве отвердителя был использован триэтиленetetрамин (ТЭТА) фирмы «Dow Chemicals». Количество отвердителя рассчитывали из стехиометрического равенства эпоксидных и аминных эквивалентов. Комплекс физико-механических характеристик отвержденного наномодифицированного эпоксидного олигомера определяли в соответствии ГОСТ 4561-82 (для модуля упругости и прочности при сжатии) и ГОСТ 4647-80 (для ударной вязкости по Шарпи без надреза, угол 94°). Показано, что введение малого количества наномодификатора (менее 1 об.%) приводит к повышению физико-механических показателей по сравнению с исходной композицией (прочность при сжатии возрастает на 110%, модуль упругости при сжатии на 25% и ударная вязкость на 85-100%). В работе рассматриваются возможные особенности формирования структуры модифицированных композиций, приводящие к повышению физико-механических показателей.

#### Литература

Гуляев Г.М., Каблов Е.Н., Ильченко С.И., Наномодифицированные углепластики с повышенной вязкостью разрушения / Г.М. Гуляев, Е.Н. Каблов, С.И. Ильченко, В.М. Алексашин, В.В. Кривонос, О.А. Комарова, А.Н. Пономарев, А.С. Лобач, В.А. Никитин, Н.Г. Спицына, Д.В. Косицкий - Труды ТПКММ-2006, М, Знание, 2006, с 88-98

Пыхтин А.А., Суриков П.В., Кандырин Л.Б., Кулезнев В.Н. Влияние ультрадисперсных наполнителей на свойства низкомолекулярных жидкостей и композиций на основе эпоксидных олигомеров. Вестник МИТХТ, 2013 вып. №4, с.113-118

Бородулин А.С. Наномодификаторы для полимерных композиционных материалов. «Все материалы. Энциклопедический справочник», № 6, 2012. Наука и Технологии, с. 51-57.

## **Влияние состава полисульфидных герметизирующих материалов на их деформационно-прочностные свойства и адгезию к алюминиевому сплаву**

Ротмистрова Е.Е.

Научный руководитель – Мийченко И.П.

МАИ, г. Москва

Полисульфидные герметики отличаются низкой проницаемостью и стойкостью к действию активных жидкостей (компонентов топлив, растворителей, кислотами, щелочами, бензином, различными маслами), но обладают сравнительно низкими деформационно-прочностными и адгезионными свойствами, в том числе при герметизации алюминиевых конструкций.

Широко распространены полисульфидные герметики марки У-30МЭС-5М, состоящие из трех компонентов: герметизирующей пасты, вулканизирующего агента и катализатора. Его свойства чрезвычайно чувствительны к соотношению компонентов в составе и условиям вулканизации.

Целью данной работы является оптимизация состава герметика и определение параметров вулканизации для обеспечения повышенных деформационно-прочностных и адгезионных свойств, а также адгезии к алюминиевым сплавам, в частности к Д16.

Для определения условной прочности, относительного удлинения в момент разрыва и относительной остаточной деформации после разрыва (ГОСТ 21751) и прочности связи с металлом при отслаивании (ГОСТ 21981) образцы, изготовленные с использованием герметизирующего материала У-30МЭС-5М, до испытаний выдерживали в течение 7 суток при нормальных условиях.

При исследовании влияния состава полисульфидного герметика У-30МЭС-5М, а также режимов вулканизации, на его деформационно-прочностные и адгезионные свойства было выявлено, что при снижении влажности до 30% и увеличении количества вулканизирующей пасты (с 8 до 14 %) и катализатора вулканизации (с 0,4 до 0,7%) в составе герметика, условная прочность при растяжении образцов повышается с 1,5 до 2,5 МПа, но снижается прочность связи при отслаивании герметика от анодированного алюминия (Д16) с 2,5 до 0,5 МПа. Для повышения прочности связи при отслаивании целесообразно дополнительно подготавливать обрабатываемую поверхность посредством нанесения подслоя.

Таким образом, для обеспечения высоких деформационно-прочностных и адгезионных свойств, оптимальным составом У-30МЭС-5М является: герметизирующая паста УЗОЭ-5 85,0%; вулканизирующая паста 14,3%; катализатор вулканизации 0,7%, с подслоем для дегазации из анодированного алюминия, а вулканизацию необходимо проводить при влажности не более 30%.

## **Разработка и исследование эластичных армированных полимерных композиционных материалов, обладающих эффектом «сухой» адгезии**

**Рубцов И.А.**

Научный руководитель – Резниченко Г.М.

МАИ, г. Москва

Для исключения большинства недостатков материалов, обладающих эффектом «сухой» адгезии, основанной на использовании микро- и наноповторяющихся поверхностных структур (имитации систем живой природы), в настоящее время активно разрабатываются альтернативные «сухие» адгезивы из полимерных композиционных материалов (ПКМ), в основе которых лежит использование прочных армирующих систем (тканей) и высокоэластичных сетчатых полимеров. Полимер служит эластичной матрицей армирующей системы и образует на поверхности тонкий упруго-податливый слой, обеспечивающий адгезионный контакт ПКМ с твердой поверхностью. Такой материал позволяет решить проблему двух основных требований к обратимым «сухим» адгезивам:

- Высокую податливость в направлении, перпендикулярном поверхности подложки, и, соответственно, высокую площадь контакта;
- Низкую податливость в направлении, параллельном поверхности подложки, необходимой для обеспечения высокой несущей способности при приложении нагрузки в этом направлении.

В основном в исследованиях подобных материалов используются ткани из нейлонных и углеродных волокон пропитанные полидиметилсилоксаном (ПДМС) или эластичным полиуретаном (ПУ). Получаемая при этом гладкая контактная поверхность обеспечивает хорошую обратимую прилипаемость материала к гладким поверхностям вследствие высокой податливости слоя эластичного полимера, а также легкое отслоение под углом отличным от 0° и высокую несущую способность при сдвиге вследствие малой податливости ткани при растяжении.

В данной работе в качестве объектов исследования «сухих» адгезивов использовались ПКМ из углеродной ткани пропитанной связующим на основе полиуретана модифицированного эпоксидной смолой (эпоксиполиуретан, ЭПУР) и отверждённого полиизоцианатом (ПИЦ).

Для изучения отверждения связующего и его последующего доотверждения использовался метод диэлектрического анализа. Ионная вязкость и тангенс диэлектрических потерь определялись при помощи диэлектрического анализатора NetzschDEA 288. С их помощью была исследована кинетика отверждения нескольких составов связующего и найдена оптимальная температура отверждения, позволяющая добиться наилучшей контактной поверхности образцов в сочетании с непродолжительным временем их отверждения.

Адгезионную прочность контакта образцов исследуемого материала с гладкой стеклянной поверхностью определяли на разрывной машине WDW-10E с постоянной скоростью перемещения траверсы в 1 мм/мин. Были получены

зависимости адгезионной прочности контакта тестовых образцов «сухого» адгезива с гладкой стеклянной поверхностью от нескольких параметров:

- Соотношения полиэфир/эпоксидная смола при синтезе связующего;
- Соотношения функциональных групп NCO/OH (изоцианатный индекс, ИИ);
- Времени выдержки образцов на стекле под давлением.

Было показано, что с увеличением концентрации как эпоксидной смолы, так и полиизоцианата, происходит возрастание адгезионной прочности. При продолжительной выдержке образцов и должных условиях хранения адгезионная прочность также возрастает.

### **Применение численно-аналитического метода для разработки и прогнозирования свойств композиционных материалов модифицированных отходами производства**

Сайфутдинова А.А.

Научный руководитель – Аблясова А.Г.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

В технологии производства композиционных материалов (КМ) одним из наиболее эффективных и перспективных направлений является модификация полимерных связующих путем введения в их состав различных по функциональному назначению добавок в виде наполнителей, пластификаторов и т.д.

Особый интерес в этом плане представляет исследование возможности применения отходов нефтехимической промышленности в производстве КМ на основе такого промышленно важного полимера как поливинилхлорид (ПВХ) жидким пиролизом нефтяных фракций - полидициклопентадиена (ДЦПФ).

Решение проблемы научно-обоснованного подхода к оптимизации структуры, составов и свойств, в значительной мере связано с изучением процессов самоорганизации, устойчивости и распада различных неравновесных полиструктурных систем. Формирующиеся структуры различного уровня обуславливают приобретение системой неаддитивных, иногда весьма ценных и уникальных свойств, не присущих «чистым» полимерам. К подобным структурам, прежде всего, могут быть отнесены кластерные и решеточные структуры КМ, к анализу которых целесообразно использовать принципы синергетики, занимающиеся изучением различных самоорганизующихся упорядоченных временных и пространственных структур в сложных неравновесных системах различной природы, в том числе и композиционных материалов.

С позиций синергетики КМ представляются типичными диссипативными системами, склонными к самоорганизации, в формирование которых значительный вклад вносит внешнее воздействие. Явление самоорганизации диссипативных структур (кластерных, решеточных и др.), их гибкая адаптационная изменчивость создают принципиальную возможность направленного регулирования свойств КМ в процессе их конфекционирования и прогнозирования изменения свойств в процессе переработки и эксплуатации КМ.

Указанная возможность представляется наиболее перспективной, если анализ, обобщение и количественное описание диссипативных структур КМ осуществлять, используя численно-аналитический метод, основанный на решении уравнения Лапласа со сложными граничными условиями, которые описывают технологические и эксплуатационные свойства КМ. Результаты экспериментально-теоретических исследований позволили предложить модель разработанных конструкционных материалов, которая описывает изменение вязкоупругих, деформационно-прочностных, теплофизических и др. свойств с учетом принципов синергетики и современных представлений о структуре полимерных материалов

В данной работе с использованием современных методов исследования (реологический, термомеханический, дифференциальный термический анализ, инфракрасная спектроскопия, рентгеноструктурный анализ и др.) проведены комплексные исследования по влиянию ДЦПФ на изменение технологических и эксплуатационных свойств материалов на основе ПВХ. Экспериментальные данные интерпретированы с учетом современных представлений о структурно-морфологической модели строения базового полимера с использованием принципов синергетики.

На основании проведенных исследований оптимизированы составы и свойства модифицированных ПВХ-композиций с применением численно-аналитического метода.

### **Исследование оптических свойств пленок и плёночных структур на основе углерода и фторуглерода**

Селявсинов Г.Б., Кендзя М.С.

Научный руководитель – Кузькин В.И.

МАИ, г. Москва

В устройствах и приборах на основе высокомолекулярных соединений – солнечных батареях, светодиодах, органических транзисторах и др. используются прозрачные слои тонких полимерных пленок. Стабильность и надежность работы подобных приборов во многом зависит от оптической прозрачности. Поэтому исследование оптических свойств полиэтилентерефталата, модифицированного углеродными и фторуглеродными тонкими пленками, является важнейшей задачей.

В настоящей работе исследуются оптические свойства барьерных слоев на основе наноразмерных фторуглеродных пленок и пленочных структур на их основе. Для оценки оптической прозрачности образцов ПЭТФ с модифицированной углеродными и фторуглеродными тонкими пленками поверхностью использовался спектрофотометрический метод пропускания. При определении оптической плотности (прозрачности) нельзя не учитывать долю рассеянного света  $i$ , которая вносит искажения в регистрируемый сигнал. Величина измеряемой оптической плотности  $D_1 = \lg((I_0+i)/(I+i))$  будет несколько меньше истинной  $D = \lg(I_0/I)$ , что вносит коррекцию в процесс измерения.

Облучение исследуемого объекта вызывает электронное возбуждение молекул, энергия которых  $W$  состоит из трёх величин:  $W = W_{эл.} + W_{кол.} + W_{вращ.}$ , где  $W_{эл.}$  – энергетическое состояние электронов;  $W_{кол.}$  – энергия колебания

атомов по отношению друг к другу и  $W_{\text{вращ.}}$  – энергия вращения всей молекулы. Минимумы на спектрах пропускания определяют границы поглощения, по которым приблизительно можно определить энергии электронного возбуждения молекул  $W$ .

Спектры пропускания измерены для образцов ПЭТФ с модифицированной поверхностью фторуглеродными структурами при концентрации  $\text{CF}_4$ , изменяющейся в диапазоне 20 – 80 %. Величина пропускания образцов увеличивается с увеличением длины волны  $\lambda$  в видимом диапазоне вплоть до ИК области и достигает насыщения (90%) при  $\lambda = 1400\text{-}1500$  нм. Для всех диапазонов наблюдаются локальные минимумы при 35 – 40 % и при 70%  $\text{CF}_4$ .

Результаты показали, что пропускание (прозрачность) образцов монотонно увеличивается от 45-50% при  $\lambda = 320$  нм до почти 90% в ИК диапазоне ( $\lambda = 1400\text{-}1500$  нм); во всех диапазонах длин волн наблюдаются локальные минимумы при 35 – 40 % и при 70%  $\text{CF}_4$ , связанные с перестройкой структуры и шероховатости поверхности.

## **Анализ технологических параметров получения продукции методом экструзионного аддитивного производства**

Сиднев Д.В.

Научный руководитель – Поляков О.А.

МАИ, Ступинский филиал

Аддитивные методы производства являются неотъемлемой частью постиндустриального технологического уклада. Непрерывное совершенствование IT-индустрии и нанотехнологий будут способствовать увеличению доли продукции полученной с применением метода аддитивного производства. Исследование параметров, влияющих на точность геометрических размеров, чистоту поверхности, прочностные характеристики готовой продукции и производительность аддитивных операций, является важной практической задачей.

Анализ технологических параметров производили на 3D-принтере, спроектированном и собранном из доступных компонентов: приводы - Nema 17 42SHD0001, ходовые винты T8x2, стол MK2B, hotendE3DV6 с соплом 0,3 мм и управляющая плата MKS GEN V1.1c прошивкой Marlin. Максимальный размер модели 200x200x200 мм. Рабочим телом являлся PLA (Полилактид) и ABS (Акрилонитрилбутадиенстирол) пластик производства ООО "РЭК". Проектирование моделей производилось средствами приложения AutodeskInventorPro 2016, технологическая подготовка печати в ПО Repetier, а в качестве слайсера (генератор G-Code) использовался Slic3r. Были подготовленные три тестовые модели. Первая модель – это пластина (30x50 мм), с нанесёнными символами различного масштаба для проверки детализации печати. Вторая – набор сужающихся и расширяющихся усечённых конусов с углами в 30°, 45° и 60°. А третья – серия мостов, квадратного сечения (1,5 мм), протяженностью 5, 10 и 20 мм.

Варьировались следующие параметры печати: высота слоя (0,1/0,15/0,2 мм), скорость печати (5/7/12/15 мм/с), ширина экструзии (0,3/0,4/0,5/0,6 мм), температура сопла (205/210/215/220°C для PLA и 220/225/230/235°C для ABS),

температура стола (95/100/105°C для ABS), множитель экструзии (0,9/1/1,1). Модели из ABS печатались без обдува, PLA – обдувались 40 мм вентилятором.

По результатам тестирования были составлены трехмерные блиц-диаграммы (скорость-температура, высота-температура, ширина-высота, высота-множитель, ширина-множитель), наглядно отображающие взаимное влияние параметров друг на друга, и на качество напечатанной модели. Снижение высоты слоя с 0,2 мм до 0,15 мм увеличило детализацию первой модели, дальнейшее уменьшение высоты, до 0,1 мм, приводило к перегреву модели и, как следствие, к ухудшению детализации. Конусы получились наиболее гладкие и геометрически верные при наименьшей высоте слоя, а мост, напротив, хорошо сформировался только при высоте слоя в 0,2 мм. Это обусловлено тем, что объем пластика, выдавливаемого на единицу пути (мм), проходимого печатающей головкой, снижается с уменьшением высоты слоя, и при значениях 0,15 и 0,1 мм, этого объема недостаточно для вытягивания между двумя опорами (параметр flowratio в данном тесте не изменялся). Изменение скорости печати совместно с температурой (чем выше скорость – тем выше температура) практически не изменило четкости напечатанных символов. Качественное формирование конусов происходило при низкой скорости печати, а мостов – при высокой. Наиболее сложным показателем для анализа оказалась ширина экструзии, она буквально зависит от всех остальных параметров и формы самой модели. Снижение ширины слоя без уменьшения его высоты только ухудшает детализацию печати, а крайние положения этих параметров (высота слоя 0,2 мм, ширина 0,3 мм) не обеспечили межслойную адгезию в модели с расширяющимися конусами.

### **Композиционные материалы на основе галактоманнанов и нанокристаллических полисахаридов**

Сотникова Ю.С.

Научный руководитель – Демина Т.С.

МАИ, г. Москва

Галактоманнаны – полисахариды растительного происхождения, основная цепь которых состоит из D-маннозы с присоединенными боковыми остатками D-галактозы. Соотношение маннозы и галактозы зависит от источника галактоманнана и определяют основные физико-химические свойства полисахарида. Наиболее распространенным типом галактоманнанов является гуар, который выделяют из *Cyamopsis tetragonoloba* и в котором каждое второе звено маннозы имеет боковой остаток галактозы. Гуар и его производные широко применяются в пищевой, косметической и фармацевтической промышленности в качестве загустителей, стабилизаторов и т.д. Пленки и покрытия на основе гуара и его производных также рассматриваются в качестве биodeградируемых упаковочных материалов. Однако, деформационно-прочностные свойства пленок гуара достаточно низкие и введение наноразмерных наполнителей может быть решением данной проблемы.

Цель работы заключалась в получении пленок из гуара и гидроксипропил гуара, наполненных нанокристаллическими полисахаридами, а также исследование их механических и сорбционных свойств. Нанокристаллические

полисахариды, в т.ч. стержнеподобные нанокристаллы целлюлозы (НКЦ) и хитина (НКХ), являются высококристаллическими наночастицами, выделяемыми из природных полимеров. Благодаря высокому отношению длины к диаметру их широко используются в качестве экологически чистых армирующих нанонаполнителей для модифицирования физико-механических характеристик полимерных композиционных материалов.

В работе использовали гуар (Ashland, США) и гидроксипропил гуар (Rhodia, Франция), а также нанокристаллическую целлюлозу и хитин, предоставленные к.х.н. А.В. Истоминым (ВИАМ). Для приготовления пленок использовали 1 мас.% водные растворы гуара и гидроксипропил гуара, в которые добавляли 0–10 мас.% лиофилизированных дисперсий нанокристаллической целлюлозы или хитина и обрабатывали ультразвуком в течение 2 мин. Затем методом сухого формования получали пленки в беспылевом шкафу при комнатной температуре. Исследование деформационно-прочностных характеристик пленочных образцов проводили на разрывной машине Instron 5965 (США) при скорости движения захватов 2 мм/мин и расстоянием между ними 40 мм. Равновесную степень сорбции паров воды определяли выдерживанием пленок в эксикаторе над насыщенным раствором  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и рассчитывали, как отношение массы образца после 7 дней сорбции к массе исходного образца.

Исследование равновесной степени сорбции паров воды показало, что для пленок гуара наполненных 0–5 мас.% нанокристаллических полисахаридов, степень сорбции остается неизменной, но при наполнении 10 мас.% как НКХ, так и НКЦ она повышается на 22%. Исходные пленки из гидроксипропил гуара характеризуются более высокой степенью равновесной сорбции, чем пленки из гуара, но наполнение нанокристаллическими полисахаридами не влияет на равновесную степень сорбции. Исследование механических свойств наполненных нанокристаллическими полисахаридами пленок гуара и гидроксипропил гуара показало, что наполнение приводит к повышению нагрузки при разрыве (с  $52.3 \pm 0.5$  МПа для пленки гуара без НКЦ до  $79.3 \pm 0.5$  для пленки, содержащей 10 мас.% НКЦ) с одновременным увеличением относительного удлинения при разрыве (до 20%). Таким образом, композиционные материалы на основе галактоманнанов, содержащие нанокристаллические полисахариды, обладают улучшенными механическими свойствами.

### **Характеристика вспененных жёстких ПВХ-композиций с азодикарбоамидом**

Тахсин А. Саки, Токарева Е.В.

Научный руководитель – Марков А.В.

МТУ, г. Москва

Пенопласты на основе поливинилхлорида занимают по объему производства третье место среди других пенопластов как в мировом масштабе так и в российской экономике, а по разнообразию способов получения, ассортименту выпускаемых марок и спектру областей применения, эти материалы наверняка, опережают все остальные пенопласты [1]. Широкое распространение этих материалов обусловлено их низкой стоимостью, хорошими физико-

химическими характеристиками, широкими возможностями модификации структуры и свойств, при использовании ПВХ матрицы в сочетании с различными полимерами других типов и различными добавками [2]. В последнее время интерес к разработке новых вспененных жестких изделий из ПВХ повысил актуальность проведения исследований, направленных на разработку новых рецептур и условий переработки, а также новых идей по расширению области применения конечных продуктов из жестких ПВХ пен [3]. Эксперименты проводили с композицией состава, которая содержала на 100 масс.ч. ПВХ: 4 масс.ч. трехосновного сульфата свинца (ТОСС), 1 масс.ч. азодикарбонамид (АДКА), 1 масс.ч. тиодизтилен бис[3-(3,5-ди-трет-бутил-4-гидрокси-фенил) пропионат] (*Irganox-1035*), 1 масс.ч. *Ca/Zn* стеарат, 3 масс.ч. полиэтиленовый воск (ПЭВ), 10 масс.ч. мела, 4 масс.ч. диоктифталат (ДОФ). ПВХ композиция была приготовлена. Плотность вспененных материалов в настоящей работе оценивалась по отношению массы к объему образца известной формы согласно стандартной методике (*ASTMD1622 Standard*). Оптимизация технологического процесса проводилась при условии минимизации плотности образцов. Оптимальной температурой прессования ПВХ композиции оптимизированного состава является температура 210 °С. При низких температурах и временах высокая исходная вязкость расплава не позволяет реализоваться высоким кратность вспенивания ( $K_{всп}$ ). При больших температурах и временах реализация высоким  $K_{всп}$  ограничивается структурированием расплава. На втором этапе этих исследований были проведены испытания опытных образцов ПВХ пеноматериалов. Исследование микроструктуры образцов позволяют сделать вывод о том, что полученные при 210 °С опытные образцы ПВХ пеноматериалов имеют однородную с узким распределением по размерам мелкопористую структур с размерами пузырьков 50-70 мкм. Некоторые физико-механические показатели вспененных композиций, содержащих оптимальное соотношение компонентов, различающихся конечной плотностью композиции показывают, что прочностные свойства материала существенно зависят от средней плотности: прочность, твердость и ударная вязкость закономерно снижаются при увеличении пористости. Величины прочности при изгибе и твердости опытных образцов позволяют и квалифицировать как жесткие ПВХ пеноматериалы.

#### Литература

1. Клемпнер Д., Сендиджаревич В. Полимерные пены и технология вспенивания // перевод с англ. под ред. А. Чеботаря –Спб.: Профессия. – 2009. – 327 С.
2. Панов Ю.Т. Научные основы создания пенопластов второго поколения. Моногр. – ВГУ.: Владимир. 2003. 176 С.
3. Марков А.В., Тахсин А. Саки, Токарева Е.В., Вацкова Е.Ю. // Пластические массы, 2015, № 9-10, С. 41-46.

## **Изменения трещиностойкости клеевых соединений после длительной экспозиции в условиях космического пространства**

Устинов А.А.

Научный руководитель – Козлов Н.А.

МАИ, г. Москва

Важным условием прогнозирования ресурса силовых космических конструкций является определение предельных и временных параметров трещиностойкости клеевых соединений несущих элементов из полимерных композиционных материалов (ПКМ) и металлов. Срок службы космических конструкций уже составляет до 20-ти лет, а может достигать нескольких десятков лет на орбите в условиях воздействия космической среды.

В рамках данной работы проанализированы и обобщены результаты многолетнего эксперимента по пассивной экспозиции образцов клеевых соединений листов алюминиевых сплавов и полимерного композиционного материала на основе трёх типов клеев на международной космической станции (МКС). Эти образцы были закреплены на панели «Компласт» №10, которая располагалась в районе конического днища на внешней поверхности функционального грузового блока МКС со дня его старта и крепились перпендикулярно днищу панели, так что одна длинная торцевая поверхность образцов прилегалась к днищу панели, а вторая была обращена в открытый космос. После раскрытия панели образцы подвергались воздействию всех факторов космического пространства: УФ, атомарного кислорода, радиации, перепада температур и микрометеоритного потока.

Исследуемые образцы клеевых соединений, делились на три вида:

- экспонированные в условиях космического пространства за бортом МКС в течение 12 лет и возвращённые на землю;
- возвращённые образцы, подвергнутые дополнительному (пост-экспозиционному) воздействию потока электронов, эквивалентному пребыванию на околоземной орбите, аналогичной орбите МКС, в течение 18 лет
- образцы – аналоги, которые хранились 12 лет в лабораторных условиях в закрытых эксикаторах.

Все образцы были испытаны на предельную трещиностойкость методом раскалывания по типу-I при заданном размере начального дефекта и докритический рост трещины методом задания постоянного раскрытия трещины и визуально-оптического контроля ее подрастания. Обработка результатов испытания позволила получить обобщённые диаграммы зависимости скорости докритического роста трещины ( $V_{\text{докр}}$ ) от нагрузки на трещину ( $G_I$ ). После раскалывания образцов были определены объёмные и поверхностные свойства клеевых слоёв, их состав и структура используя методы смачивания поверхности жидкостями различной полярности, Оже-спектроскопии, рентгеновской фото-электронной спектроскопии, дилатометрии, и ДСК.

Полученные данные использованы в докладе для анализа механизмов и причин деградации свойств клеев и прогнозирования срока службы (долговечности) клеевых соединений ПКМ и алюминиевого сплава на основе выбранных клеевых составов, при условии известных действующих нагрузок, типа и размеров дефектов.

## **Синтез непредельных производных хитозана для разработки фоточувствительных композиций на основе биополимеров**

Хавпачев М.А.

Научный руководитель – Аكوпова Т.А.

Испм РАН им. Н.С. Ениколопова, г. Москва

В последнее время большое внимание уделяется трехмерным моделям различных клеточных культур, сформированным в объеме полимерных матриц заданной морфологии и предлагаемых в качестве биомиметических имплантатов для решения задач регенеративной медицины. Природные полисахариды, в том числе хитозан и его производные, могут быть успешно использованы для создания подобных структур за счет высокой клеточной аффинности и способности к контролируемой биорезорбции. Для получения материалов с высокой степенью воспроизводства заданной морфологии используют технологию лазерной микростереолитографии, основанную на инициировании локальных пространственных сшивок между реакционноспособными звеньями макромолекул под действием лазерного излучения при реализации одно- или двухфотонного поглощения в УФ-области спектра. В последнем случае возможно регулировать внутреннюю архитектуру матриц с разрешением до 200-400 нм. Для того чтобы повысить реакционную способность функциональных групп полимеров в реакциях сшивания при воздействии лазерного излучения в их структуру вводят непредельные группы.

Химическая модификация природных полисахаридов, в частности, получение их производных – простых и сложных эфиров, получение хитозана при щелочном деацетилировании хитина, проведение привитой полимеризации на полисахариды и т. п. требует предварительной активации полисахаридов и использования большого избытка агрессивных реагентов с последующей их дорогостоящей регенерацией. Поэтому разработка новых методов модифицирования хитозана с целью получения материалов с улучшенными свойствами, позволяющими повысить его растворимость, сорбционную емкость, физико-механические характеристики и способность к образованию пленок, волокон, наночастиц и сшитых структур, является актуальной задачей. В настоящей работе для получения непредельных производных хитозана, реакционноспособных при инициировании процесса пространственной сшивки в малом объеме, предложен метод воздействия на полимеры давления при сдвиговых напряжениях. Метод позволяет отказаться от использования растворителей, не требует расплавления реакционных смесей и, таким образом, является удобным и эффективным способом целенаправленного химического модифицирования неплавких и мало растворимых полисахаридов. Целью работы являлось выявление закономерностей твердофазного синтеза аллилзамещенных производных хитозана и изучение их структуры и свойств.

Показано, что полимераналогичные превращения хитозана в варьруемых условиях твердофазного синтеза приводят к получению непредельных производных хитозана, пригодных для создания трехмерных биосовместимых структур заданной морфологии методами лазерной микростереолитографии. Установлено, что содержание модифицированных аллильными фрагментами звеньев хитозана в растворимых в разбавленных кислотных водных растворах

образцах составляет от 5 до 50% и зависит от исходного соотношения компонентов в реакционных смесях. В условиях щелочного катализа замещение происходит преимущественно по гидроксильным группам полимера с образованием простых непредельных эфиров хитозана. Разработаны составы фоточувствительных композиций для формирования трехмерных структур на основе синтезированных непредельных производных хитозана.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ: проект №14-29-07234-офи\_м.

### **Термопласты, армированные стекловолокном**

Штель И.О.<sup>1,2</sup>, Беззаметнов О.Н.<sup>1,2</sup>, Амирова Л.Р.<sup>2</sup>

Научный руководитель – Амирова Л.М.

<sup>1</sup>КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, <sup>2</sup>К(П)ФУ, г. Казань

Благодаря ряду явных преимуществ композиционных материалов на основе термопластов по сравнению с термореактивными композитами, такими как высокая ударопрочность, повышенная трещиностойкость, низкое водопоглощение, возможность вторичной переработки и др., термопластичные композиционные материалы имеют высокие перспективы во многих отраслях промышленности. Композиты на основе полипропилена, армированного стекловолокном, имеют хороший баланс между невысокой стоимостью и свойствами. Однако, в этом случае необходимо повышать межфазную адгезию, так как свойства композита зависят от взаимодействия матрицы и волокна. Данную проблему решают двумя способами: использованием аппретов, смачивающих волокно и формирующих межфазный слой, или модификацией полимерной матрицы.

Целью данной работы являлось получение ряда армированных стекловолокном ПКМ методом компрессионного горячего прессования. В роли матрицы был выбран ряд промышленных полипропиленов и сополимеров ПП: гомополимеры (марки:PP1500J, PP1525J), статистический сополимер пропилена и этилена (марка PP4345S), блок-сополимеры пропилена и этилена (марки: PP8300N, PP9240M, PP9240K, PP8300G), проведена оптимизация их составов.

В ходе данного исследования было изучено влияние строения совмещающего агента на механические и теплофизические свойства композитов с использованием динамического механического анализатора DMA 242 E Artemis (Netzsch). Определены фазовые переходы полимеров с применением метода ДСК анализа (DSC 14 Polyma (Netzsch)). Изучены реологические свойства полимеров с использованием реометра DHR 2 (TAInstruments). Были подобраны составы компонентов, позволяющие получать композиционные материалы с высокими эксплуатационными свойствами.

Проведены физико-механические испытания образцов полученного материала: испытания на растяжение, сжатия, изгиб на электромеханической универсальной машине Instron 5882, ударную вязкость по Изоду с помощью маятникового копра InstronCEAST 9050, определение энергии поглощения при ударе, ударной прочности, усилия пробоя, усилия вдавливания и других параметров, характеризующих ударостойкость и энергопоглощение материалов

и конструкций с использованием копра с вертикально падающим грузом InstronDynatup 9250 HV.

## **Применение полимерных материалов при оптимизации систем звукопоглощения**

Шустров Т.Л.

Научный руководитель – Дмитренко В.П.

МАИ, г. Москва

Вопрос защиты от шумового загрязнения на предприятиях машиностроительной отрасли не теряет своей актуальности и по настоящий момент. Постоянное совершенствование устройств/механизмов/станков, внедрение нового оборудования или технологий требует, чтобы системы активной и пассивной шумозащиты развивались вместе с ними. Широко применяются разнообразные по используемым материалам системы звукоизоляции и звукопоглощения (ДВП, пленки, облицовки, экраны). Данная же работа посвящена изучению вопроса максимально эффективного использования комплексных структур из полимерных материалов для звукопоглощения.

Целью данной работы является определение наиболее эффективной комбинации полимерных материалов, исходя из их показателей коэффициентов звукопоглощения, и разработка наиболее оптимальной «сэндвич» системы из максимально удовлетворяющих цели материалов.

Для этого:

- Проведен тщательный анализ используемых полимерных материалов на действующих предприятиях машиностроительного комплекса. Данный пункт составляет основную теоретическую часть работы.
- Проведена классификация полимерных материалов, исходя из коэффициентов звукопоглощения. Составлены таблицы значений, использованные в расчетах параметров материалов.
- Выбраны материалы, обладающие наиболее высокими показателями звукопоглощения. Сопоставлены вторичные показатели материалов, важные на стадии производства будущего изделия (стоимость полимера, сложность в изготовлении).
- Определена целесообразность комбинирования выбранных материалов в монолитную структуру (определены комбинации материалов, которые в структуре «сэндвич» обеспечат охват наибольшего диапазона длин звуковых волн).
- Скомпонована «сэндвич панель» на основе отобранных материалов. Проведены основные расчеты, аргументирующие преимущества выбранной структуры. Дан сравнительный анализ предлагаемой панели в сравнении с имеющимися наиболее популярными/используемыми образцами.

В результате работы предложена конструктивная схема «сэндвич панели» нетипичного вида, с прилагаемыми экспериментальными данными, подтверждающими целесообразность выбранной схемы комбинирования полимеров.

Предлагаемая схема обеспечивает:

- Высокие показатели звукопоглощения по широкому диапазону длин звуковых волн.
- Низкие затраты на исходные материалы (экономия дорогостоящих материалов).
- Минимизацию трудозатрат при сборке готовой панели и производстве ее комплектующих.
- Удобство и простоту монтажа готового изделия.

## **СЕКЦИЯ № 48. Технологические процессы и системы автоматизированного проектирования металлургических процессов**

Руководитель секции: д.т.н., профессор Моисеев В.С.

---

### **Анализ эффективности фтористых флюсов при сварке и пайке**

Алексеев И.А.

Научный руководитель – Никитина Е.В.

МАИ, г. Москва

Одной из проблем при пайке и сварке алюминиевых сплавов, являются оксидные пленки на поверхности соединяемых металлов, приводящие к образованию таких дефектов как: пористость, непровары при сварке, а так же неспаи при пайке. Для удаления оксидных пленок в процессе пайки и сварки применяют флюсы на основе хлористых и фтористых солей. Хлориды щелочных и щелочноземельных металлов практически не растворяют оксидную пленку алюминия, и роль хлоридов заключается лишь в обеспечении низкой температуры плавления флюса. Однако, используя чисто фторидные системы можно обеспечить температуру плавления флюса  $\geq 620-650^{\circ}\text{C}$ , что соответствует требованиям, предъявляемым к флюсам для дуговой сварки алюминиевых сплавов.

Относительно механизма действия флюса на оксидную пленку алюминия существуют различные мнения. Большинство исследователей полагает, что непосредственное химическое растворение оксидов во флюсах не всегда является главным для удаления оксидной пленки, и что действие флюсов связано в основном с процессом смачивания оксидов и адсорбционной способностью флюсов. М.Ф.Иордан и Д.Р. Мильнер, пришли к выводу, что действие флюса состоит в отслаивании оксидной пленки от поверхности алюминия за счет электрохимических процессов, протекающих на границе раздела оксид - металл. Е.И. Сторчай объясняет удаление оксидной пленки протеканием электродного процесса на границе алюминия с оксидной пленкой, причем роль фторидов заключается в том, что фторид натрия и натриевый криолит, добавленные к хлористым солям, ускоряют удаление оксидной пленки с алюминия вследствие уменьшения потенциала алюминиевого анода. Удаление оксидной пленки происходит за счет электродного процесса на границе металла с оксидной пленкой. Алюминий при этом является анодом, а оксидная пленка - катодом. Флюс играет роль электролита. Разрушение оксидной пленки при флюсовании становится возможным, когда потенциал алюминия в расплаве имеет более положительное значение, чем потенциал активации, при котором галогенид приобретает способность вытеснять с поверхности металла адсорбированные ионы  $\text{O}^{2-}$ . Процесс растворения окиси алюминия во флюсе не влияет на её удаление. Фтористой натрий и криолит, добавленные к хлоридам, ускоряют удаление оксидной пленки в следствии уменьшения потенциала алюминиевого анода.

Были проведены эксперименты по созданию флюса для сварки на основе только фтористых солей. Такие флюсы менее гигроскопичны, и не требуют удаление остатков флюса после процесса сварки. Предложен состав флюса Flux(25) 32%LiF +24% AlF<sub>3</sub>+ 12%CaF<sub>2</sub>+13%K<sub>2</sub>ZrF<sub>6</sub>+9%KBF<sub>4</sub>, с температурой плавления 590-610<sup>0</sup>С для дуговой сварки. Установлено, что при нанесении флюса наблюдается образование трещин в пленке, отслаивание краев пленки, причем отслоенные края разорванной пленки сворачиваются под воздействием сил поверхностного натяжения в рулончики.

Эффективность рафинирования при сварке сплава АМг6 выше (на 20% меньше включений в шве), чем при использовании флюса ФА1Т.

### **Деформация в условиях сверхпластичности – инновационная технология обработки металлов давлением**

Аманова А.Ж.

Научный руководитель – Петров А.П.

МАИ, г. Москва

Внедрение прогрессивных металлосберегающих технологий в заготовительное производство машиностроения позволяет существенно повысить коэффициент использования дорогостоящих и дефицитных материалов (КИМ) и снизить затраты на производство. Этим достигается основная цель инноваций – повысить отдачу от вложенных в производство ресурсов.

К числу таких инновационных технологий заготовительного производства в машиностроении в полной мере можно отнести сверхпластическую деформацию (СПД) как разновидность технологии обработки металлов давлением.

СПД позволяет избежать органических недостатков обычных видов деформации. При обычной штамповке заготовок деталей сложной конфигурации, например, лопаток ГТД, наблюдается большая неравномерность деформации на различных участках. Неравномерность деформации приводит к неоднородности микроструктуры и, как следствие, к неоднородности механических свойств материала, которые не устраняются, а в ряде случаев даже усиливаются при последующей термической обработке.

В условиях сверхпластического течения микроструктура материала слабо зависит от степени деформации, а также активизируются диффузионные процессы, что способствует получению состояния с высокой структурной и химической однородностью. Кроме того, отсутствие накопления дислокаций при СПД, наличие ультрамелкозернистой структуры способствует увеличению пластичности и ударной вязкости. Таким образом, условия СПД целесообразно использовать не только для увеличения ресурса пластичности промышленных сплавов, но и для контролируемого изменения их структуры и эксплуатационных свойств

Поковки деталей, изготовленные методами СПД с минимальными допусками на обработку резанием, не имеют штамповочных уклонов и характеризуются повышенной точностью. Для их получения требуются меньшие усилия, так как в условиях СПД наблюдается не только значительное увеличение пластичности

деформируемого металла, но и снижение его сопротивления деформации, и соответственно, уменьшение контактного трения.

СПД позволяет получать качественные поковки из труднодеформируемых сплавов сложной формы с тонкими элементами, сократить при этом в более чем два раза норму расхода материала и на 25...30% трудоемкость последующей обработки резанием.

Все это позволяет рассматривать СПД металлов и сплавов как инновационную технологию заготовительного производства в современном машиностроении.

## **Применение систем компьютерного моделирования литейных процессов в литейном производстве**

Амелин А.С., Митрохин А.С.

Научный руководитель – Бережной Д.В.

МАИ, г. Москва

Основной проблемой разработки технологических процессов литейного производства является, создание условий непрерывного питания и направленного затвердевания отливок, обеспечивающих получение качественной отливки с требуемым качеством литья при минимальном расходе металла. При разработке литниково-питающей системы и направленных средств воздействия используются различные методики и опыт предыдущих способов получения схожих по конфигурации номенклатур литья [1]. После разработки литниково-питающей системы и направленных средств воздействия, проверяется способность получения отливок требуемого качества с помощью полученных теоретическим способом данных. Для проведения проверки необходимо проводить пробы изготовления требуемой отливки. Для этого необходимо изготовить оснастку, с учетом разработанной литниково-питающей системы, для изготовления отливки. Производство оснастки это сложный процесс, требующий больших временных и финансовых затрат. В случае если разработанная литниково-питающая система не обеспечивает получение требуемого качества получаемой отливки её нужно корректировать, а как следствие и корректировать уже изготовленную дорогостоящую оснастку. Применение систем компьютерного моделирования на этапах разработки технологического процесса приводит к сокращению временных и финансовых затрат и позволяет получать требуемую номенклатуру литья требуемого качества[2].

Работа проводилась в рамках договора по теме «Разработка технологии и проектирование оснастки для изготовления отливок из магниевых сплавов из номенклатуры ОАО «ММЗ Авангард»».

Целью данной работы было проведение проверки разработанных технологических процессов литейного производства с помощью системы компьютерной моделирования литейных процессов ProCAST компании ESI Group и их доработки для получения качественных плотных отливок при рациональном расходе металла.

Для проведения проверки технологических процессов создавались 3D модели отливок, оснастки требуемой для их получения в системе автоматизированного

проектирования SolidWorks, и задавались начальные, граничные и контактные условия, определяющие процессы заполнения и кристаллизации отливки, в системе компьютерного моделирования ProCAST.

В результате, после расчёта процесса заполнения и охлаждения отливку были проанализированы, скорость заполнения, образование твёрдой фазы во время образования и охлаждения отливки. Были выявлены места, где будут образовываться недопустимая пористость и напряжения, и как следствие, разработаны методы для устранения данных дефектов в отливке.

Список использованной литературы:

1. Моисеев В.С., Неуструев А.А., Бережной Д.В., Никитин В.Н., Асотрян А.Р., Скорняков Ю.Л. Проектирование технологических процессов литья крупногабаритных тонкостенных корпусов из легких сплавов. Труды седьмого съезда литейщиков России. Новосибирск, Издательский дом «Историческое наследие Сибири», 2005 г. Том II.

2. Моисеев К.В. Разработка методического обеспечения проектирования литниково-питающих систем для крупногабаритных отливок из легких сплавов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.16.04 / Моисеев Кирилл Викторович.

## **Исследование свойств жаростойких сплавов на основе Ni изготовленных методом ЭВКР**

Басков Ф.А.

Научный руководитель – Серов М.М.

МАИ, г. Москва

В настоящее время актуальной задачей является повышение эксплуатационных свойств двигателей летательных аппаратов. Повышение эксплуатационных свойств можно осуществить за счет использования новых высокоэффективных уплотнительных материалов, которые будут отвечать ряду требований.

Одним из наиболее перспективных направлений создание таких материалов является создание высокопористой структуры из металлических волокон. Существует три основных метода получения металлических волокон, такие как: 1) способы вытяжки (методы обработки металлом давлением); 2) способом обработки металлов резанием (токарная обработка); 3) формирование волокон из расплава (литейные методы).

Процессом волочения можно получить волокна до 1 мкм, однако стоимость производства таких волокон резко возрастет из большого количества технологических процессов. Методом резания трудно получить ровные волокна, кроме того, данным методом затруднительно получить слишком тонкие волокна (минимальный диаметр 80 мкм).

Наиболее перспективным методом получения волокон является литейные методы. К ним относится метод высокоскоростного затвердевания расплава (ВЗР) и его разновидность-метод экстракции висящей капли расплава (ЭВКР). Данный метод имеет ряд преимуществ перед традиционными металлургическими технологиями:

- возможность получения тонких волокон и при этом иметь значительный диапазон толщин получаемой продукции;
- возможность получать волокна из широкого спектра материалов, благодаря без тигельной плавке;
- разнообразие геометрических форм (порошки, ленты, волокна, частицы игольчатой или чешуйчатой формы).

Результаты проведенных экспериментов показали, что волокна жаростойких никелевых сплавов полученных методом ЭВКР могут быть использованы для изготовления пористых материалов с дальнейшим их применением в качестве теплообменников, фильтров для очистки промышленных газов, щеточных уплотнений авиационных газотурбинных двигателей.

## **Методика прогнозирования структуры и свойств металлических материалов после их горячего пластического формоизменения**

Борунова Т.И.

Научный руководитель – Палтиевич А.Р.

МАИ, г. Москва

Важной задачей при разработке технологических процессов горячей обработки металлов давлением является прогнозирование структуры и свойств металлических материалов. Для решения данной задачи необходимо установить связь между параметрами технологического процесса, такими как степень и скорость деформации, температура обработки и наличие определенной металлографической структуры в материале. Важная роль в решении подобных наукоемких вопросов отводится инструментам математического моделирования, в частности программным продуктам, построенным на базе конечно-элементарного анализа. Для моделирования процессов ОМД могут использоваться как специализированные программные продукты, так и программы универсальной направленности. Однако, ни те ни другие не могут дать технологу однозначной информации о том, каким образом будут распределены в изделии механические свойства, как оно поведет себя в процессе эксплуатации. Для ответа на этот вопрос необходимо разработать методику, позволяющую увязать воедино имеющиеся в процессе горячей ОМД напряженно-деформированные состояния (НДС), температурно-скоростные параметры процесса и распределение металлографической структуры в объеме изделия.

Для решения данной задачи необходимо использовать методику, позволяющую количественно оценить закономерности изменения структуры материала при его охлаждении по разным режимам после горячего пластического деформирования.

В качестве образцов для испытаний наиболее рационально использовать образцы клиновидной формы, так как в процессах ОМД распределение напряженно-деформированного состояния может значительно различаться по объему изделия, что обуславливает необходимость проведения испытаний с различной степенью деформации, а использование клиновидных образцов, деформируемых продольной прокаткой, позволяет значительно снизить количество экспериментов.

Перед проведением испытаний на боковые поверхности образцов через равные промежутки наносят вертикальные насечки, которые после проведения испытаний дают возможность определить распределение степени деформации по длине образца. Затем образцы нагреваются до температур из области температурного интервала деформирования и подвергаются продольной прокатке. Для реализации различных режимов охлаждения клиновидных образцов нужно использовать дополнительные тепловые аккумуляторы разной мощности, например, стальные плиты, нагреваемые совместно с образцами до тех же температур. Данный температурный режим исследования позволяет изучить процессы рекристаллизации в широком диапазоне. Для анализа металлографической структуры образцы подвергают испытаниям на разрыв, которые позволяют получить значения пределов текучести и прочности для испытуемых образцов в зависимости от имеющихся условий нагружения.

Подобная методика испытаний дает возможность оценить влияние технологических параметров процессов деформирования и последующего охлаждения на структуру и свойства получаемого изделия, в виде функциональной зависимости следующего вида:

$$D = D_0 * K_T * K_\epsilon * K_v,$$

где:  $D$  - расчетный параметр (величина зерна, предел прочности и др.);  $D_0$  - расчетное значение параметра при базовых значениях температуры деформации, степени деформации и скорости охлаждения, а  $K_T$ ,  $K_\epsilon$ ,  $K_v$  - поправочные коэффициенты, корректирующие базовую величину  $D$  в зависимости от соответственно температуры, степени деформации и скорости охлаждения.

При математическом моделировании процесса прокатки клиновидных образцов необходимо выбирать параметры моделирования таким образом, чтобы в результате получить максимально приближенную по геометрии к реально деформируемому образцу модель. В результате моделирования получено распределение деформаций и температур по длине образца.

По итогам испытаний становится возможным разработать комплексную математическую модель, связывающую результаты математического моделирования прокатки клиновидных образцов с результатами физического эксперимента. Совмещая картины НДС и распределения механических свойств в исследуемом образце можно, средствами математического моделирования, прогнозировать конечные механические свойства в получаемом изделии.

### **Особенности компьютерного моделирования литья в вакуумно-пленочные формы отливок из алюминиевых сплавов в программном комплексе ProCAST**

Бутеева О.С.

Научный руководитель – Бережной Д.В.

МАИ, г. Москва

Литье в вакуум-пленочную форму - технологический процесс изготовления литейных форм с применением термопластичной пленки. Качественные характеристики литья при помощи вакуумно-пленочной формовки обладают следующими преимуществами перед традиционным литьем в песчано-глинистые формы: получением более плотной отливки, созданием условий для

уменьшения внутренних напряжений, снижением количества посторонних включений в отливке, достижением высокой чистоты поверхности отливки, возможность получения сложных отливок, требующих повышенной размерной точности в сочетании с отсутствием у них литейных уклонов и радиусов [1].

Однако технологические особенности литья в вакуумно-пленочные формы значительно усложняет ее компьютерное моделирование. Для создания адекватной компьютерной модели процесса литья в вакуумно-пленочные формы необходимо определить основные особенности, влияющие на процесс заполнения формы расплавом и кристаллизации отливки. Проведенный анализ позволил выявить следующие основные факторы, определяющие построение компьютерной модели литья в вакуумно-пленочную форму [2,3]: наличие разряжения в поровом пространстве наполнителя формы, изменение теплофизических свойств формы из-за отсутствия связующего в наполнителе формы, коэффициент гидравлического трения на поверхности металл-пленка на 35-40% ниже чем на поверхности металл-песчаная форма, изменение интенсивности теплообмена на границе металл-форма из-за отсутствия воздушного зазора.

Исходя из сложности математического описания рассмотренных выше условий для компьютерного моделирования литья отливок из алюминиевых сплавов в вакуумно-пленочные формы была выбрана система компьютерного моделирования (СКМ) ProCast компании ESI Group, которая по общим оценкам является наиболее эффективной СКМ и отличается высокой достоверностью результатов расчета и широким диапазоном различных условий моделируемых процессов.

Задание особенностей условий процесса литья в вакуумно-пленочные формы проводилось в СКМ ProCast с помощью уточнения свойств материалов (вкладка Materials), контактных условий (Interface), граничных условий (Boundary Conditions), начальных условий (Initial Conditions) и параметров расчета (Run Parameters) с помощью сравнительного анализа реального и компьютерного эксперимента по заливке спиральной пробы на жидкотекучесть [4].

Сравнение результатов моделирования с реальными отливками, полученными литьем в вакуумно-пленочные формы, показало хорошую адекватность построенной компьютерной модели.

Список использованной литературы:

1. Воткинский завод термического оборудования [Электронный ресурс] / Вакуумно-пленочная формовка, 2015 - Режим доступа: <http://vzto.ru/tehnology/vakuum-plenochnaja-formovka.html>, свободный. - Загл. с экрана.

2. Минаев А. А. Вакуумная формовка. М.: Машиностроение, 1984.

3. Иванов В.В. Брак отливок, изготавливаемых в вакуумно-пленочных формах, и меры его предупреждения – Литейное производство, 2005, №5, с. 20-22.

4. Финогорова Ю.М. Проект цеха производства отливок из алюминиевых сплавов литьем в песчаные формы производительностью 1000 тонн в год. – М: МАТИ, 2012.

## **Исследование алюмоорганического связующего и изготовление на его основе керамических форм для литья особо ответственных отливок**

Воробьев А.А., Соболев А.Г.

Научный руководитель – Варфоломеев М.С.

МАИ, г. Москва

Для повышения качества отливок ответственного назначения, таких как детали газотурбинного двигателя, стремятся получать как можно более мелкозернистую структуру отливки с минимальной толщиной металлооксидного слоя на ее поверхности.

Успешность решения поставленных задач во многом зависит от теплофизических характеристик лицевых слоев керамической формы, состоящих из огнеупорного и связующего материала. В связи с этим, к материалам лицевого слоя керамической формы предъявляются требования по высокой теплопроводности и химической инертности к расплаву.

Применяемые в настоящее время в технологии литья по выплавляемым моделям керамические корундовые формы, содержащие диоксид кремния (до 3 масс. %), обладают рядом существенных недостатков связанных с тем, что при их изготовлении используют связующие этилсиликат или коллоидальный кремнезем. Это единственные промышленно выпускаемые и широко применяемые связующие материалы в отечественном литейном производстве.

Диоксид кремния образуется после высокотемпературного прокаливания керамической формы из связующего. В процессе заливки и охлаждения расплава происходит интенсивное физико-химическое взаимодействие компонентов жаропрочных и титановых сплавов с диоксидом кремния керамической оболочки, что приводит к ее разупрочнению и повышению пористости, формируя зону металлооксидного слоя, вызывая брак в отливках. Кроме того, при равноосном литье лопаток, их структура отличается относительно крупным зерном. С целью повышения качества отливок ответственного назначения была проведена работа по поиску перспективных материалов для изготовления керамических форм с наилучшими свойствами.

В ГНЦ ГНИИХТЭОС на основе органических соединений разработано спиртовое алюмоорганическое связующее, модифицированное хромом для литья по выплавляемым моделям, которое было исследовано специалистами нашего института. Связующие материалы представляют собой прозрачные спиртовые жидкости, которые отверждаются на воздухе в течение 1-2 часов при комнатной температуре. Растворы хромсодержащих органоалюмоксанов были использованы в лицевых слоях в качестве связующих материалов при изготовлении экспериментальных образцов керамических корундовых форм.

По сравнению с используемыми керамическими формами в литейных цехах высокоточного литья, разработанная технология обладает заметными преимуществами: вдвое большей теплопроводностью и более высокой химической инертностью по отношению к расплавленному жаропрочному сплаву.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках выполнения базовой части Государственного задания №2014/93 (код проекта 3087).

## **Совершенствование методики измерения температуры при сварке кольцевых заготовок крупногабаритных силовых шпангоутов баков ракетоносителей**

Вуколов П.Ю.

Научный руководитель – Меньшиков Г.А.

МАИ, г. Москва

До настоящего времени при производстве силовых шпангоутов баков ракетоносителей стыковой контактной сваркой оплавлением ( $K_{co}$ ) прессованных профилей большого сечения из алюминиевых сплавов не обеспечивалось получение стабильного высококачественного сварного соединения. По отрасли за данную технологию отвечала Украина. Накопленные проблемы по технологии, контролю качества процесса и сварных соединений  $K_{co}$  предприятиям приходится решать самостоятельно. Данная работа посвящена вопросам контроля процесса  $K_{co}$  по обобщающему параметру – температуре и градиенту температуры в зоне соединения при подогреве и оплавлении.

Процесс сварки включает несколько стадий: сборка деталей в кондукторах с формирующими ножами, установка припусков на соответствующие этапы сварки, а затем предварительное оплавление для выравнивания свариваемых торцов, подогрев методом сопротивления, оплавление, осадка и проковка.

Формирование соединения происходит на этапе осадки, все остальные этапы являются подготовительными. Осаживаемые торцы деталей должны быть нагреты до температуры пластической деформации (для высокопрочных алюминиевых сплавов она составляет  $\sim 400...450^{\circ}C$ ) и иметь относительно ровный рельеф оплавляемых поверхностей.

Для получения качественного соединения при  $K_{co}$  необходимо выполнить ряд требований, противоречивых по своему характеру – с одной стороны, для облегчения удаления оксидных плёнок из стыка температуру заготовок необходимо увеличивать, а с другой стороны, нагрев высокопрочных алюминиевых сплавов может вызвать значительное разупрочнение в зоне стыка. Так, у сплава АМг6 при нагреве свыше  $450^{\circ}C$  и выдержке при ней более 30 секунд происходит выделение  $\beta$  - фазы, снижающее механические свойства получаемого соединения.

В связи с этим возникает необходимость контроля температуры заготовок на протяжении всего цикла сварки. После модернизации стыкосварочной машины её система управления позволяет производить измерение температуры с использованием термопар ХА, а также бесконтактным способом – при помощи пирометра. Однако бесконтактный способ измерения применительно к алюминиевым сплавам не даёт стабильных показателей, а использование термопар, размещаемых на деталях, ограничено лишь единичными опытами. В работе предложена конструкция оснастки (кондукторов, спецгубок), которая позволяет выполнить поджатие спаев термопар к поверхности деталей. Само устройство находится внутри ножа оснастки, что предохраняет термопары от

внешних воздействий в процессе сварки и монтажа (демонтажа) кольцевой заготовки в стыкосварочную машину.

В ходе экспериментов было установлено, что предлагаемый способ измерения температуры и градиента температур позволяет быстро и точно поместить термопары, практически не требуется дополнительных трудозатрат. При необходимости термопары могут быть использованы многократно, а также они могут быть установлены с одного комплекта оснастки на другой, что снимает необходимость тарировки термопар при смене кондукторов.

Данная конструкция кондукторов рекомендована для внедрения в производство штатных изделий. Внедрение новой разработки позволит оптимизировать режим  $K_{co}$  и станет объективным показателем качества получаемого сварного соединения.

### **Влияние режимов изотермического выдавливания на структуру и сопротивление деформации сплава ВТ6**

Головкин С.А.

Научный руководитель – Первов М.Л.

РГАТУ им. П. А. Соловьёва, г. Рыбинск

В настоящее время для получения заготовок лопаток ГТД из титановых сплавов широко применяют изотермическую штамповку. При температуре деформации предел текучести материала штампа сопоставим с сопротивлением деформации штампуемого материала, что приводит к повышенному износу и деформации штампа. Повысить стойкость штампов можно путем уменьшения температуры нагрева инструмента. Для уменьшения сопротивления деформации сплавов и снижения контактных напряжений в процессе изотермического деформирования наиболее перспективным путем является получение мелкозернистой структуры. Для изготовления заготовок лопаток из титановых сплавов нами было применено изотермическое выдавливание. Измельчение зерна происходит в процессе динамической рекристаллизации при выдавливании. Для определения температурных, деформационных и скоростных характеристик изотермического выдавливания сплава ВТ6 был проведен полный факторный эксперимент. В эксперименте варьировали среднюю скорость и температуру изотермического выдавливания. Из заготовок, полученных изотермическим выдавливанием, были изготовлены цилиндрические образцы с высотой 15 мм и диаметром 10 мм и проведены испытания на сжатие на испытательной машине LabTest 6.125Н при температуре 820 °С и скорости деформирования 0,1 мм/мин. В результате проведенных исследований было установлено что заготовки из титанового сплава ВТ6 полученные методом изотермического выдавливания при температуре деформации 800 °С, скорости деформирования  $V=0,3$  мм/с и коэффициенте вытяжки 7,84 имеют пониженный предел текучести при температуре 820 °С, что позволяет снизить температуру деформирования при штамповке заготовок лопаток и тем самым повысить стойкость штампового инструмента.

## **Прогнозирование механических свойств изделий из алюминиевых сплавов после горячей деформации**

Головкина М.Г.

Научный руководитель – Галкин В.И.

МАИ, г. Москва

В настоящее время основной задачей в области обработки металлов давлением является разработка научно-обоснованных подходов к прогнозированию структуры и свойств металлических материалов в процессе их пластического горячего формоизменения. Для этой цели разработана методика, позволяющая совместить напряженно-деформированное состояние (НДС), температурно-скоростные параметры деформационного процесса и распределение механических свойств в объеме изделия.

Разработанная методика включает в себя:

- Проведение механических испытаний образцов исследуемого материала, полученных методом горячей прокатки клиновых заготовок при различных параметрах деформирования. Варьируемыми параметрами являлись температура, степень деформации и скорость охлаждения.
- Математическое моделирование процесса прокатки и охлаждения после деформации с целью получения количественных показателей НДС, температур и скорости охлаждения.
- Построение функциональных зависимостей механических свойств от параметров деформационного процесса, полученных с помощью регрессионного анализа.
- Создание базы данных, совмещающей значения механических свойств, полученные в ходе опыта, и результаты конечно-элементного анализа.
- Использование полученных функциональных взаимосвязей при разработке технологических процессов ОМД в целях прогнозирования распределения механических свойств по объему изделия.

На основании разработанной методики создано программное приложение к САЕ-системам – автоматизированная система прогнозирования (АСП), которая позволяет прогнозировать распределение по объему готового изделия следующих его механических свойств: предел прочности, предел текучести и твердость после деформации.

Для оценки возможностей разработанной АСП смоделированы процессы деформирования и охлаждения штамповок «Мембрана» из сплава Д1 и «Кронштейн» из сплава АМг6. Температуры нагрева для сплава Д1 составляли 380, 450 и 520°С, для сплава АМг6 – 350 и 420°С. Данные конечно-элементного моделирования импортировались в АСП для прогнозирования механических свойств. В результате прогнозирования получены следующие значения твердости: сплав Д1 – 75,8; 75,5; 75,1 при температуре 380, 450 и 520°С соответственно; сплав АМг6 – 97,6; 96,4 при температуре 350, 420°С соответственно. Для оценки точности полученных результатов изготовлены опытные штамповки «Мембрана» из сплава Д1 и «Кронштейн» из сплава АМг6 и проведен замер твердости по Бринеллю. Значения твердости для Д1 составили 72,3; 72,5; 71,7 при температуре 380, 450 и 520°С соответственно; для сплава АМг6 – 96,3; 95,5 при температуре 350, 420°С соответственно. Сравнение

результатов, полученных в системе прогнозирования, с экспериментальными данными замера твердости показало достаточно хорошее их соответствие друг другу, что позволяет говорить о высокой точности решения.

Разработанные методика и автоматизированная система прогнозирования свойств позволяют исследовать свойства готового изделия в любой интересующей точке с учетом временного фактора протекания процессов рекристаллизации. Разработанная методика может применяться для прогнозирования механических, эксплуатационных и функциональных характеристик изделий из различных металлов и сплавов, получаемых методами ОМД.

### **Разработка комплексного лазерно-дугового метода нанесения защитных покрытий на внутренние поверхности труб малого диаметра**

Горячев А.А., Быкадоров А.Н., Кубатина Е.П.  
Научный руководитель – Лозован А.А.  
МАИ, г. Москва

Известно, что нанесение защитных покрытий на внутренние поверхности длинных труб малого диаметра является весьма сложной задачей. Нами эта задача решалась с помощью метода импульсного лазерного осаждения (ИЛО или PLD в зарубежной литературе). При нанесении покрытий на открытые поверхности метод позволяет очень точно контролировать толщину покрытия, производить осаждение при низкой температуре подложки и осаждать нанокристаллические и аморфные пленки с хорошей структурой. В тоже время у метода ИЛО имеется ряд недостатков, основным из которых является наличие в осаждаемом потоке макрочастиц - капель и твердых частиц микронного и субмикронного размера, а также весьма низкая производительность (при самой высокой скорости осаждения за импульс).

Еще ярче эти недостатки проявляются при нанесении покрытий на внутренние поверхности длинных труб малого диаметра. Нанесение покрытий проводили на специальном лазерном стенде, позволяющем обрабатывать трубы длиной до 1 м при диаметре порядка 10 мм. В процессе лазерной абляции и взаимодействия плазменного факела со стенкой трубы происходил существенный массоперенос, вызванный осаждением расплывленных из мишени атомов и ионов, распыления поверхности трубы, отражения и внедрения осаждаемых частиц, а также наличием в осаждаемом потоке капель нано- и микронного размерного диапазона.

Для минимизации, как числа, так и размера капель была использована двух лазерная схема, при которой второй лазер доиспарял капли в факеле первого лазера. Это позволило лишь частично решить задачу. Кроме того, осталась проблема низкой производительности метода, что приводит к экономической целесообразности его применения только для мелкосерийного или единичного производства.

В настоящее время разработан и уже применяется за рубежом в промышленности плазменный ионный иммерсионный с полым катодом (НСРПР) метод осаждения, который позволяет с высокой скоростью осаждать

толстые и твердые алмазоподобные углеродные (АПУ) пленки на внутренней поверхности металлических труб. Метод использует эффект полого катода для генерирования плазмы весьма высокой плотности внутри самой трубы. Поддержание разряда с полым катодом в пределах детали важно для быстрого роста толстых пленок на основе АПУ. Критическими параметрами для поддержания такого разряда являются внутренний диаметр трубы и рабочее давление. Метод позволил нанести покрытия на внутренние поверхности металлических труб очень малого внутреннего диаметра, вплоть до 2 мм. Однако максимально достигнутое отношение длины к диаметру пока составляет 24/1, что не решает многих задач.

В результате проведенного анализа результатов экспериментов было принято альтернативное решение - исследовать на лазерном стенде возможности импульсного вакуумно-дугового напыления, при котором как в ИЛО в осаждаемом потоке присутствуют ионы разного заряда (что важно для управления структурой формируемой пленки) и капли, но который может обеспечить существенно более высокую скорость напыления за счет высокочастотного режима испарения. Поджиг дугового разряда осуществляется наносекундным Nd-YAG лазером с длиной волны 1,064 или 0,532 мкм. Наличие дугового и лазерного напыления на одной установке позволяет решать задачи разработки различных комплексных технологий. Проблему негативного влияния капель на свойства покрытий предполагается решать специальной обработкой.

### **Исследование возможности создания широкополосного отражающего покрытия на основе алюминия, кварца и оксида циркония**

Довгань Д.Ю.

Научный руководитель – Лозован А.А.

МАИ, ПАО «КМЗ им. С.А. Зверева», г. Москва

Развитие оптики многослойных тонкопленочных покрытий тесно связано с прогрессом в области нанесения пленок в вакууме. В настоящее время для получения указанных покрытий помимо хорошо освоенных термовакuumных методов напыления все более широко используются методы ионно-плазменного распыления, обладающие более широкими возможностями получения слоев из диэлектрических материалов с заданными оптическими свойствами. Использование в последнее время ионно-ассистированного осаждения, а также применение ионной очистки поверхности подложек, в значительной мере улучшило морфологию поверхности и структуру плёнок.

Требования к оптическим интерференционным покрытиям часто выходят за рамки отраслевых стандартов. В настоящей работе исследуется возможность создания отражающих покрытий на оптические изделия работающие в диапазоне длин волн 520-1100 нм со спектральным коэффициентом отражения  $\geq 96\%$  (для современных высокоотражающих покрытий, применяемых, например, в лазерной технике, типичная величина отражения немногим больше, чем 99-99.5 %, в зависимости от поляризации).

Поставленная задача достаточно сложна и в работе анализируется несколько возможных путей ее решения:

- Алюминиевые покрытия широко используются благодаря отличному отражению практически во всем оптическом спектре от УФ до ИК. Кроме того, отражение металлических покрытий меньше меняется в зависимости от степени поляризации и угла падения излучения, чем у диэлектрических покрытий. Увеличение отражения базового алюминиевого зеркала возможно при помощи многослойного неравнотолщинного диэлектрического зеркала из кварца и оксида циркония.

- Создание зеркала исключительно из диэлектрических материалов.

- Поиск других металлических и диэлектрических материалов для создания требуемого покрытия.

Представленные варианты имеют ряд ограничений. Рассмотрим их подробнее.

Во-первых: в заданном диапазоне длин волн алюминиевые зеркала имеют существенный провал отражения с экстремумом в районе 800 нм, достигающий 80-75 % при неблагоприятных условиях (низкие скорости испарения алюминия, ухудшение параметров откачки, низкое качество расплываемого материала).

Во-вторых: широкий требуемый диапазон длин волн диктует применение сложного многослойного интерференционного зеркала со слоями отличающимися от четверть волновой конструкции. Расчет таких покрытий требует не только наличия вычислительных комплексов типа OptiLayer или TFCalc, но и тщательного анализа оптических характеристик испаряемых диэлектрических материалов с целью выявления реальной дисперсии для конкретной партии.

В-третьих: при расчете зеркал из диэлектриков часто появляются слои с минимальной толщиной, которую сложно обеспечить даже на достаточно современном оборудовании. Так же проблема контроля распространяется на многослойные покрытия с количеством слоёв 20 и более.

В-четвертых: попытка поиска других металлических материалов для создания зеркала неизбежно приведёт к применению драгоценных металлов (Au, Ag), что в свою очередь может быть экономически нецелесообразным.

## **Легирование алюминиевых сплавов для аддитивных технологий**

Догадкин Н.С., Власенко А.Н.

Научный руководитель – Конкевич В.Ю.

МАИ, г. Москва

Целью представленного исследования является разработка принципов легирования алюминиевых сплавов, предназначенных для использования в качестве «строительного» материала, при создании деталей методами аддитивного производства.

Необходимость в проведении таких исследований определяется двумя основными задачами. Первая задача – обеспечение технологичности порошка при аддитивном производстве, путем рационального выбора состава сплава. Вторая задача – обеспечение требуемого комплекса механических свойств деталей, получаемых аддитивной технологией, с учетом особенностей термического цикла процесса.

В настоящее время, при создании алюминиевых деталей методом аддитивной технологии наиболее широко используются сплавы на основе системы Al-Si, близкие по содержанию Si к эвтектическому составу (10-12 масс%). Такая композиция порошка обеспечивает хорошие литейные свойства и, соответственно, хорошее формирование расплавленного слоя. В процессе изготовления порошка, низкий интервал кристаллизации способствует быстрому затвердеванию порошинки в полете и таким образом частица формируется правильной сферической формы. Эксперименты по распылению высокопрочных алюминиевых сплавов с большим интервалом кристаллизации показали, что в этом случае, в процессе полета частицы в твердо-жидком состоянии, кристаллизующаяся частица теряет свою сферичность и в итоге кристаллизуется частица вытянутой формы, что неблагоприятно сказывается на процессе SLM и др. Кроме сферической формы, которая обеспечивает удовлетворительную текучесть порошка, повышению эффективности процесса SLM способствует уменьшение теплопроводности и уменьшение отражающей способности сплава.

Теплопроводность вряд ли можно изменять в существенных пределах, если используется сплав конкретной системы легирования, а вот для уменьшения отражающей способности возможно эффективными могут оказаться различные поверхностно-активные добавки в газовую среду, в которой происходит распыление порошка при его изготовлении.

Для повышения прочности, в сплав на основе силумина добавляют Mg. В этом случае упрочнение сплава обеспечивается за счет фазы  $Mg_2Si$ , которая выделяется при старении. Очевидно, что с учетом сложной формы деталей, с внутренними полостями, которая присуща большинству изделий, получаемых аддитивной технологией, алюминиевый сплав, который используется для изготовления этих деталей, должен обеспечивать требуемый комплекс механических свойств без операции закалки. В связи с этим перспективными являются термически неупрочняемые среднепрочные сплавы системы Al-Mg. При этом, однако, надо учитывать возможность испарения магния при воздействии лазерного луча.

Поскольку, скорость охлаждения при кристаллизации слоев при SLM составляет около  $10^5$  К/с, очевидно, что легирование сплавов должно происходить аналогично тому, как это производится при легировании быстрозакристаллизованных гранулируемых алюминиевых сплавов. Известно, что практически все гранулируемые алюминиевые сплавы содержат большое количество переходных металлов. Таким образом, сплавы для аддитивных технологий, исходя из термического цикла лазерного спекания, тоже необходимо легировать переходными металлами для обеспечения высокой прочности.

## Анализ схем изготовления полых конических изделий листовой штамповки

Иванов А.А., Стрижов Д.А.

Научный руководитель – Жаров М.В.

МАИ, г. Москва

На основе анализа выявлено, что полые конические изделия листовой штамповки получают с помощью процесса вытяжки. Вытяжка конических деталей сложна из за того, что давление пуансона передаётся лишь в центр заготовки. Это вызывает значительно утонение вплоть до разрыва материала. Так же часть заготовки остается вне прижима, вследствие чего могут образоваться гофры. Число вытяжных операций, форма и размеры вытяжек зависят от формы и размеров готовой конической детали.

Рассмотрим два стандартных способа получения полых конических изделий:

- Способ вытяжки ступенчатого профиля с последующей калибровкой;
- Способ постепенного увеличения высоты конуса.

Первый способ характеризуется тем, что за предварительные переходы получают ступенчатую деталь, у которой касательная к наружному контуру имеет тот же угол наклона к оси симметрии, что и образующая конической детали, заданной к изготовлению. На последнем переходе вытяжки спрямляется образующая, т. е. ступенчатая заготовка превращается в коническую деталь. Заметим, что при таком спрямлении образующей диаметральные размеры выступающих частей контура уменьшаются, а диаметральные размеры внутренних угловых участков ступеней увеличиваются. Уменьшение диаметральных размеров при малой относительной толщине заготовки может привести к потере устойчивости с образованием продольных складок. Использование такого варианта вытяжки вызывает затруднения при устранении следов перехода от одного участка к другому и мы имеем торообразные участки появившиеся по скругленным кромкам пуансона и матрицы.

Второй способ подразумевает под собой сначала вытягивания полуфабриката, поверхность которого будет равной или чуть больше поверхности готовой конической изделия, при этом размеры борта должны быть равны размерам бортового конуса. Затем каждая следующая операция – это вытягивание все увеличивающийся части конической поверхности. Этот вариант вытяжки позволяет получить лучшее качество поверхности, чем предыдущий, так как спрямление торообразных участков при его переходе в конический может быть осуществлено при наличии больших растягивающих напряжений, а так же угол поворота при спрямлении меньше, чем в первом варианте.

## **Исследование работы сильноточного плазмотрона в среде аргона и гелия**

Иванов В.Н., Чупятов Н.Н.

Научный руководитель – Лозован А.А.

МАИ, г. Москва

В настоящее время порошковая металлургия является одним из наиболее перспективных и многообещающих направлений в промышленности. Наряду с традиционными способами получения деталей сложной геометрии для авиационной и ракетно-космической техники в последнее время особенно активно развиваются так называемые аддитивные технологии, основанные на использовании промышленных 3D принтеров, позволяющих «печатать» сложные детали из порошков непосредственно по данным 3D моделей CAD систем. Работа таких устройств основана на применении мелкодисперсных порошков металлов и сплавов с размером частиц менее 100 мкм.

Существует несколько способов получения таких порошков, одним из которых является метод центробежного распыления, обладающий определенным рядом преимуществ. Распыляемая металлическая заготовка цилиндрической формы, помещенная в камеру с инертной средой, раскручивается до скорости 25-35 тыс. об/мин (в зависимости от диаметра заготовки). Торец заготовки оплавляется с помощью плазменной струи, и под действием центробежной силы мельчайшие капли металла отрываются от кромки заготовки и во время полета в камере кристаллизуются, образуя гранулы сферической формы. Порошки, полученные этим методом, обладают высокими показателями качества.

Производительность распыления практически полностью определяется маркой распыляемого сплава и мощностью плазмотрона. Применявшиеся ранее плазмотроны были весьма ограничены по мощности, в связи с чем процесс распыления некоторых сплавов имел достаточно низкую производительность. Специалистами ПАО «Электромеханика» был разработан более мощный плазмотрон, имеющий значительные конструктивные отличия от своих предшественников.

Специфика процесса распыления выдвигает ряд особых требований к конструкции и режимам работы плазмотрона. Во-первых, распыление ведется в камере, заполненной гелием с добавлением 10% аргона. Инертная среда камеры является одновременно рабочей средой для плазмотрона. Применяемые газы – аргон и гелий – обладают сравнительно низким напряжением пробоя, и, соответственно, дуга имеет достаточно малую самоустанавливающуюся длину – приблизительно от 10 до 30 мм в зависимости от тока, расхода газа и других факторов. Напряжение на такой дуге определяется преимущественно областями катодного и анодного падения потенциала и равно в среднем 60 В. За счет подбора геометрических соотношений канала сопла удалось несколько увеличить длину дуги и получить наибольшее напряжение 80 В. В то же время, основной прирост мощности достигается за счет увеличения тока дуги, который достигает значений 1600–1800 А. Малая длина дуги и большой ток определяют специфику геометрии электродуговой камеры плазмотрона. Вместе с тем, распыление заготовок больших диаметров (75–80 мм) накладывает

определенные требования на форму плазменной струи, которая должна иметь диаметр высокотемпературной области порядка 35 мм. В связи с тем, что плазмотрон работает в довольно тяжелых температурных условиях и по ряду других причин применение соленоида в его конструкции затруднительно, и стабилизация дуги достигается только за счет газодинамических сил.

Было разработано и исследовано несколько модификаций плазмотрона, отличающихся геометрией канала сопла, способом подачи плазмообразующего газа и другими признаками, имеющих как падающие, так и восходящие вольт-амперные характеристики.

## **Исследование возможности применения системы QForm при оптимизации технологического процесса ОМД**

Киньзякаева Р.А.

Научный руководитель – Соколов А.В.

МАИ, г. Москва

В современном машиностроительном производстве постоянно возникает необходимость в изготовлении новых видов продукции, где используются все более совершенные и сложные детали. Ввиду сложных параметров изготавливаемой продукции нельзя абсолютно точно проанализировать заранее правильность разрабатываемого технологического процесса. Особенно остро данная проблема стоит в области обработки металлов давлением, а именно для горячей объемной штамповки.

Математическое моделирование является одним из способов оптимизации технологии получения изделий. Результаты математического моделирования оказывают существенную помощь при определении требуемых размеров заготовки; при назначении числа переходов; при проектировании профиля рабочей поверхности спечоснастки.

Программа QForm дает возможность в динамике рассмотреть процесс формирования будущего изделия и корректировать параметры штамповки за счет изменения геометрии заготовки и оптимизации штамповочных переходов.

При сравнении двух схем технологических процессов изготовления детали типа «кронштейн» было установлено, что КИМ при высокоскоростной штамповке (ВСШ) составляет 51 % в то время как при штамповке на молоте 22 %. Из этого можно сделать вывод, что использование ВСШ для получения детали является более экономически выгодным.

При моделировании штамповки детали типа «кронштейн» на высокоскоростном молоте (ВСМ), установлено, что в поковке отсутствуют дефекты в виде несплошностей, надрывов, складок, трещин, расслоений, заковов и т.д. Строение металла деформированной заготовки – волокнистое. Макроструктура основания, полотен, а также зон перехода – однородная, волокнистая. Зон перегрева не обнаружено.

Нашёл подтверждение и тот факт, что для алюминиевых сплавов температура начала штамповки на ВСМ принимается на 20–30<sup>0</sup>С ниже рекомендуемой для штамповки на других видах штамповочного оборудования.

В результате математического моделирования определено, что в центре заготовки и в зоне основания, где происходит преимущественно осадка,

деформационный разогрев практически не наблюдается, а смещается к краям заготовки, усиливается по периферии, особенно в зоне контакта заготовки с инструментом в тех местах, где деформация достигает максимальных значений. Таким образом, деформирование на высокоскоростных машинах приводит к увеличению теплосодержания поковки.

Установлено, что формообразование тонких элементов поковки, которые преимущественно присутствуют в данной детали, на ударном (и особенно на высокоскоростном) оборудовании протекает в тепловых условиях, способствующих поддержанию в деформируемом материале высокой пластичности и формруемости.

В целом, заполняемость гравюры штампа определяется комплексным действием ряда факторов, важнейшими из которых являются, рассмотренный выше тепловой режим деформации, контактное трение и силы инерции. Поскольку прочность штампа обуславливает ограничения практических возможностей формообразования даже для металлов с «неограниченной» пластичностью, к определяющим факторам следует отнести также сопротивление деформированию.

Результаты моделирования показывают, что максимальные значения усилия, удельного усилия, а также непосредственно сопротивления деформированию наблюдаются в начале процесса, когда реакция очага деформации принимает своё наибольшее значение, поскольку велика ещё скорость инструмента.

Анализ результатов моделирования дает основание говорить о том, что разработанный технологический процесс является стабильным, бездефектным и может быть предложен в качестве альтернативы существующему.

Моделирование в QForm позволило оптимизировать разработанный ранее технологический процесс, сделав его менее энергоёмким, и разработать технологический процесс штамповки с рациональным использованием металла.

## **Компьютерное моделирование отливок, получаемых литьём по выплавляемым моделям**

Клюев А.О.

Научный руководитель – Телицына О.В.

МАИ, г. Москва

ProCAST – это профессиональное решение для компьютерного моделирования всех литейных процессов, встречающихся как на отечественных, так и на зарубежных производственных площадках. Система базируется на методе конечных элементов, что обеспечивает высокую точность описание геометрии отливки и формы расчетной модели, учет большинства процессов теплового, кристаллизационного, металлургического, напряженно-деформированного характера. С помощью системы ProCAST возможно моделирование таких технологических процессов, как литье в песчаные и оболочковые формы, литье в кокиль, литье по выплавляемым моделям, литье под давлением, центробежное литье, непрерывное и полунепрерывное литье, литье по газифицируемым моделям, а также тиксолитье (литье металла в твердодожидком состоянии).

Для подготовки расчета в ProCAST используются отдельные модули. В подпрограмме Visual-Mesh производится импорт 3D-геометрии отливки, формы и других элементов (холодильники, стержни, фильтры и др.), а также построение расчетной конечно-элементной сетки. Генерация сетки происходит в автоматическом режиме, также Mesh-Cast содержит множество инструментов для ручной корректировки геометрии и оптимизации созданной сетки. Функция построения модели оболочки по импортированной геометрии куста отливок значительно упрощает работу по моделированию литья по выплавляемым моделям.

Модуль Visual-Cast отвечает за настройку всех параметров технологического процесса: применяемых материалов, граничных и начальных условий и параметров моделирования. Интегрированная среда Visual позволяет быстро переключиться между основными режимами программы: Visual-Mesh, Visual-Cast и Visual-Viewer; при этом работа осуществляется в одном окне и с одной моделью, нет необходимости загружать каждый раз сохраненный проект при открытии нового модуля.

После задачи всех параметров запускается процесс расчёта. Скорость расчёта зависит от размера сетки, количества параметров расчёта, количества задействованных ядер и мощности ПК.

Подпрограмма Visual-Viewer обеспечивает просмотр результатов расчета после окончания моделирования или на текущем этапе расчета. Доступны такие расчетные результаты, как температура в отливке и форме, скорость и векторное отображение течения потока; гидростатическое давление металла, количество твердой фазы, распределение усадочной пористости и другие параметры.

С помощью системы компьютерного моделирования литейных процессов ProCAST был проведен расчет отливки “Корпус” из сплава ВТ-20Л, получаемой методом литья по выплавляемым моделям. Отливка и ЛПС были предварительно построены в программе автоматизированного проектирования SolidWorks.

Расчет получения данной отливки производился в программном комплексе ESI ProCAST v2013.0 & Visual-Environment v8.6 for Win32.

Проверка в DataCheck не выявила ошибок при всех заданных параметрах и условиях.

При расчете были получены результаты, которые показали, что данная отливка спроектирована правильно и образующаяся пористость не входит в тело отливки.

### **Предпосылка применения высоких гидростатических давлений для определения сопротивления деформации металлов**

Комаров Р.С.

Научные руководители – Федоров А.А., Беспалов А.В.

МАИ, г. Москва

Создание новых технологических процессов обработки металлов давлением (ОМД) основано на математическом моделировании и вычислительном эксперименте, позволяющих получить наиболее полную информацию о процессе и использовать ее для оптимизации технологических параметров и

управления качеством формируемых изделий. На точность решения влияет полный набор исходных данных и, прежде всего, качество реологических уравнений, в состав которых входят уравнения взаимосвязи сопротивления деформации ( $\sigma_s$ ) со степенью ( $\varepsilon$ ), скоростью ( $\dot{\varepsilon}$ ) и температурой деформации ( $\theta$ ).

При формулировке реологических уравнений состояния, исследователь нередко сталкивается с дилеммой: точность или простота. Для задач обработки металлов давлением важны оба фактора. Точная формулировка реологических уравнений - это важная область научного поиска, разработка которой дает определяющий вклад в решение задач о пластическом течении.

Предварительный анализ литературных сведений о зависимости:

$$\sigma_s = \sigma_s(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, \theta)$$

показывает, что до настоящего времени не существует методов определения сопротивления деформации металлических материалов, включающих диапазон высоких однородных деформаций, которые составляют в данный момент не более 12%. В реальных процессах ОМДдеформации достигают 60% и более. В этой связи большие перспективы открывают методы испытаний, разрабатываемые на кафедре ТОМД. Они предусматривают использование высоких гидростатических давлений (ВГД) для повышения пластичности испытуемых материалов и получения, таким образом, реальных, а не приближенных с помощью различных приемов аппроксимации данных по сопротивлению деформации. Сочетание новых конструкций образцов и использование ВГД позволило обеспечить достижение однородных деформаций при сжатии образцов в контейнере высокого давления до величин 58-62 %. Проведены испытания на алюминиевых, титановых и магниевых сплавах.

## **Исследование влияния управления дугой на свойства сварных соединений из сплава АМг6**

Кошелев А.О.

Научный руководитель – Никитина Е.В.

МАИ, г. Москва

В процессе аргонодуговой сварки алюминиевых сплавов в результате катодного распыления происходит разрушение поверхностной оксидной пленки. Раздробленная оксидная пленка в результате движения металла в ванне отгесняется к ее краям. Поскольку в процессе АрДС пленка только разрушается, а не удаляется, как например, при сварке по слою флюса, то к качеству предварительной обработки деталей перед сваркой и сборке предъявляются повышенные требования. Для получения металла шва высокого качества должны быть приняты меры для рафинирования ванны от мелкодисперсных оксидных включений. Одним из эффективных приемов является управление гидродинамическими процессами в сварочной ванне, в частности, за счет наложения внешнего магнитного поля.

При сварке жестких крупногабаритных конструкций наибольшее количество дефектов (пор и оксидных включений) в металле шва сплава АМг6 наблюдается в соединениях, выполненных с зазором между свариваемыми кромками  $\Delta=1$ мм. В процессе изготовления изделия такие зазоры получают в результате развития сварочных деформаций, например при сварке врезных фланцев.

Образцы сваривались дугой, перемещающейся вдоль и поперёк оси сварного шва при различных параметрах магнитного управления: частота  $f=1\div 5\text{Гц}$ , амплитуда колебаний  $A_I=1\div 5\text{мм}$  при наилучших условиях сборки  $\Delta=1\text{мм}$ . Перед сваркой образцы и проволока подвергались стандартной обработке.

Установлено, что и в случае управления дугой поперечным перемещением дуги и параллельным магнитным полем никаких внешних изменений внешнего вида сварного шва не наблюдалось при малых амплитудах (1-2) и больших частотах (5-10Гц) перемещения дуги.

Перемещение дуги, как в поперечном, так и в продольном магнитном поле сопровождается уменьшением проплавления при неизменной тепловой мощности дуги.

При  $f=2\div 4$  и амплитудах  $A=3\div 4\text{мм}$  выявляются изменения внешнего вида и макро- и микроструктуры структуры шва. При амплитудах свыше  $A\geq 5\text{мм}$  стабильное формирование шва не достигается.

Изучение структуры сварного шва и механических свойств сварного соединения показало, что лучшие результаты получаются в случае сварки дугой, перемещающейся в параллельном магнитном поле. Механические испытания на разрыв образцов, сваренных с зазором 1мм дугой, перемещающейся в параллельном магнитном поле с параметрами магнитного управления  $f=4\text{Гц}$ ,  $A=4\text{мм}$  показали лучшие результаты:  $\sigma_{\text{в}}=315\pm 10\text{МПа}$ .

Выводы:

При определённых параметрах магнитного управления дугой наблюдается изменение внешнего вида и структуры шва;

Значения механических испытаний образцов на прочность показывают, что лучшие результаты получаются в случае сварки дугой, перемещающейся в параллельном магнитном поле.

### **Технологические подходы получения тонких лент припоев на основе алюминиевых сплавов**

Краснобородько И.О., Еремеев Н.В., Еремеев В.В.  
Научный руководитель – Петров А.П.  
МАИ, г. Москва

Применение технологии пайки является особенно актуальным для цветных металлов и их сплавов, поскольку она обладает рядом преимуществ по сравнению со сваркой. Пайка стала одним из важнейших технологических процессов соединения металлов во многих отраслях металлообрабатывающей промышленности. Алюминиевые сплавы, содержащие в своем составе более 10%Si, 5%Cu, 5%Zn, относятся к не деформируемым сплавам. В настоящее время наибольший интерес представляют припой на основе системы Al-Si-Ge.

Типовой технологический процесс получения ленточной заготовки из слитков алюминия и его сплавов не может быть применен к сплавам систем Al-Si и Al-Si-Ge, так как они относятся к не деформируемым сплавам. Проведенный анализ литературы показал, что прессование из цилиндрического слитка полосы позволяет в значительной степени проработать литую структуру сплава и измельчить фазовые включения, что в результате позволяет обеспечить необходимый уровень пластических свойств для дальнейшей прокатки ленты до

толщины  $0,1 \pm 0,02$  мм. Это обусловлено тем, что в процессе деформации происходит дробление интерметаллидных фаз.

Исследования проводились на образцах, полученных из слитков сплавов систем  $\text{Al}+\text{Si}$  (условное обозначение П1) и  $\text{Al}+\text{Si}+\text{Ge}$  (условное обозначение П2). Литье сплавов проводилось в специализированный водоохлаждаемый кристаллизатор полунепрерывного литья, оснащенный графитовой гильзой, обладающей скользящей поверхностью, не требующей смазки, и тепловой насадкой.

Горячее прессование слитков проводили на вертикальном гидравлическом прессе с усилием 2,5 МН с применением прессовой оснастки прямого действия, через матрицу с винтовыми выступами.

Таким образом, объектами исследования являлись четыре типа образцов:

- прессованная полоса  $h=6,0$  мм из сплава П1;
- прессованная полоса  $h=6,0$  мм сплава П2;
- литая полоса  $h=6,0$  мм из сплава П1;
- литая полоса  $h=6,0$  мм из сплава П2.

Проведенные исследования показали, что за несколько циклов горячей прокатки толщины  $h$  прессованных полос припоя П1 и П2 уменьшились с 6 до 1 мм, при этом удалось получить высокое качество поверхности, растрескивание полос не произошло, а суммарная деформация  $E_{\Sigma}$  составила.

На следующем этапе работы горячей прокатке были подвергнуты литые полосы припоя из сплавов П1 и П2.

Проведенные исследования показали, что за несколько циклов горячей прокатки толщины литых полос  $h$  припоя П1 и П2 уменьшились до значения 2,45 мм. Однако последующая итерация прокатки привела к разрушению образцов, при этом суммарная деформация  $E_{\Sigma}$  составила всего 59%.

На следующем этапе работы исследования были посвящены разработке технологии получения ленты методом холодной прокатки толщиной 0,1 мм из прессованных полос припоев П1 и П2 с толщиной 1 мм после горячей прокатки.

В результате по экспериментальной технологии была получена лента толщиной  $h=0,1$  мм на основе опытных сплавов П1 и П2, обладающая мелкодисперсной структурой с равномерным распределением интерметаллидных фаз, а так же необходимым уровнем механических свойств.

## **Адаптация программного комплекса проектирования ТПЛ рабочих лопаток ГТД к условиям предприятия**

Кураева Л.С.

Научный руководитель – Смыков А.Ф.

МАИ, г. Москва

На кафедре «Технологии и САПР МП» разработаны прикладные программы (ПП) для автоматизированного решения задач по оптимизационному проектированию технологических процессов (ТП) литья лопаток газотурбинных двигателей (ГТД). В рамках договора с ФГУП «НППЦ газотурбостроения САЛЮТ» осуществляется их модернизация с целью удобства эксплуатации при доводке по работающим технологиям и освоение новой номенклатуры литья на предприятии. В этой связи на структурированном и объектно-ориентированном

языке программирования Delphi разработан новый интерфейс для ввода исходных данных и вывода результатов расчетов. Кроме этого изучены заводская номенклатура литья рабочих лопаток ГТД и технологии их получения. Это связано в первую очередь с тем, что газотурбинные лопатки имеют сложную конфигурацию и могут значительно отличаться по размерам, а для их изготовления применяются разнообразные и часто сложные литниково-питающие системы (ЛПС). В результате были определены основные группоразмеры отливок класса «Рабочая лопатка» и предложены к применению наиболее экономичные и в тоже время производительные ЛПС. Учен опыт предприятия по технологическим решениям, связанным с применением средств воздействия по реализации принципа направленного затвердевания и непрерывного питания фасонных отливок для различных технологий литья по выплавляемым моделям, а именно, с печью подогрева форм перед заливкой и с применением общего чехла из тепловой изоляции для блока форм.

Результаты автоматизированного проектирования ЛПС осуществлено для рабочих лопаток массой – 280 г.

По сравнению с заводской ЛПС количество лопаток в блоке увеличено с 9 до 12 шт., при этом вес шихты на плавку сокращен с 7 кг до 5,8 кг за счет повышения КИМ (коэффициент использования металла) с 36% до 57,9%.

### **Имитационное моделирование как инструмент определения оптимального количества ресурсов**

Кузина С.М.

Научный руководитель – Галкин В.И.

МАИ, г. Москва

В данной работе представлена методика оптимизации количества рабочих мест на предприятии, основанная на использовании имитационного моделирования и планирования эксперимента. Имитационное моделирование позволяет визуализировать производственные процессы и по реальным заданным условиям оптимизировать работу производственного подразделения предприятия. В дальнейшем разработанная модель может применяться в качестве элемента системы принятия инженерных решений. Проведен эксперимент в программе имитационного моделирования с использованием целевой функции определения оптимального числа оборудования при различных заданных параметрах объемов производства.

Предприятие планирует производить продукцию нескольких типов на заказ. Условно назовём их А, Б и В. На стадии технологической подготовки производства разработаны технологии производства изделий, с помощью имитационного моделирования сформированы фотографии рабочего дня. Каждое изделие производится путем сборки из ряда деталей, которые закупаются у поставщиков или производятся непосредственно на предприятии путем штамповки и последующей механической обработкой. Для изделий Б и В технология изготовления предусматривает производство этих комплектующих. Изделие А полностью состоит из покупных компонентов.

С помощью AnyLogic произведено моделирование ситуации, создана модель, которая отражает основные процессы производства: оформление заказов

поставщикам, поставка всех комплектующих на склад, собственное изготовление деталей, распределение всех деталей по типам производства, окончательная сборка изделий. Модель позволяет корректировать значения всех использованных параметров, таких как количество оборудования, объем выпускаемой продукции, длительности этапов технологической схемы и др.

На базе построенной модели проведен оптимизационный эксперимент, который позволяет рассчитать оптимальное число оборудования для заданного объема производства всех типов продукции. Предложены целевые функции с оптимизацией по производительности. С помощью этого инструмента, путем варьирования значений программы выпуска изделий, получены результаты производительности для каждого эксперимента

Полученные результаты обработаны по методике планирования эксперимента. Получено уравнение для расчета приведенного эффекта производства в зависимости от количества сборочных постов и объема производства изделий.

## **Автоматизация проектирования технологических процессов литья**

Майоров И.А., Колотий Д.Д.

Научный руководитель – Моисеев В.С.

МАИ, г. Москва

Формирование исходного варианта технологического процесса (ИВТП) литья изготовления литой заготовки является важнейшей задачей при разработке технологии ее изготовления.

Анализ традиционного подхода при проектировании технологических процессов литья, предполагает следующую последовательность действия технолога:

- поиск аналитических апробированных технологических процессов (ТП);
- если аналитических разработок нет, но деталь имеет типичную геометрическую форму, то технолог решает задачу вывода ИВТП исходя из существующих технологических рекомендаций для деталей определенной конструкции (панелей, цилиндров, и т.д.);
- если деталь имеет нетипичную конфигурацию и возможны различные варианты ИВТП, то проводят оценку и выполняют расчеты по существующим методам с целью выбора наиболее приемлемого варианта ТП.

Следовательно, в автоматизированном режиме формирование ИВТР ТП литья может происходить по следующей схеме:

- поиск аналогичных апробированных ТП с помощью информационно-поисковой системы (ИПС);
- решение задач формирования ИВТР по технологическим рекомендациям. К числу этих задач следует отнести: выбор положения отливки в форме и выбор типа литниковой системы;
- выбор наиболее рационального ИВТР из числа возможных с помощью специально сформулированных оценок в виде целевой функции.

Первый этап приведенной схемы способствует повышению надежности и ускорению технологической подготовки производства отливок. Эффективное

применение этого этапа невозможно без создания ИПС технологических процессов литья, обеспечивающей накопление, хранение, поиск и выдачу пользователю информации об имеющихся апробированных способах литья.

Для реализации второго этапа предлагаемой схемы возможно использовать алгоритмы распознавания. Для этого все множество ТП следует разбить на упорядоченные подмножества представителей отливки различных геометрических образцов, произведя описание каждого с помощью информационных признаков различные сочетания которых будут представлять собой решающие правила. С помощью этих правил будет производиться оценка близости всякой новой отливки с одним из заранее выделенных классов отливок и в результате приниматься решение по указанным задачам.

Если отливка не относится ни к одному из заранее выделенных классов, то выбор наиболее рационального ИВТР из числа возможных классов можно производить с помощью целевых функций, сформированных на основе теории принятых решений. Применение данных функций позволит формировать количественную оценку о качественном решении задачи.

### **Изучение возможности импульсной лазерной сварки лёгких сплавов с глубоким проплавлением**

Мешков Д.А.

Научные руководители – Степанов В.В., Федоров С.А.

МАИ, г. Москва

В настоящее время для изготовления ряда конструкций методом лазерной сварки требуется обеспечить получение качественных сварных соединений заготовок, толщиной 2-5 мм. Основная проблема получения таких конструкций заключается в сложности установления равномерного парадинамического канала, особенно, при импульсной лазерной сварке. Для обеспечения равномерного формирования сварного соединения на производстве, как правило, предварительно проводят подбор оптимальных режимов сварки. Однако, в ряде случаев, это требует больших затрат по времени и материальных ресурсов. В связи с этим для решения данной задачи было предложено проводить отработку режимов на математической модели. Поскольку в технической литературе отмечается несколько сложных процессов, протекающих в процессе лазерной сварки, то общую модель было предложено разделить на несколько блоков (подмоделей), которые описывают различные физические процессы.

Анализ научно-технической литературы показал, что для описания процесса лазерной сварки необходимо учитывать интегральную энергетическую мощность лазерного излучения, поглощение излучения свариваемым материалом, условия формирования и поддержания в равновесии парагазового канала, распределение температурных полей в свариваемом материале. Проведённый анализ современных моделей для описания рассмотренных физических явлений позволил определить математический аппарат, который можно использовать для построения численной модели импульсной лазерной сварки материала с большой толщиной стенки. Для этого было предложено использовать следующие подмодели.

- Подмодель лазерного луча, которая описывает распределение плотности мощности лазерного излучения в пятне нагрева;
- Подмодель поглощения излучения, которая описывает преобразование энергии лазерного излучения в тепловую энергию с учетом зависимости коэффициента поглощения от материала, а также потерю энергии на отражение от поверхности свариваемого изделия;
- Подмодель парогазового канала, которая описывает геометрию канала из локального равновесия давлений на его стенках;
- Подмодель распределения температурных полей, которая описывает температурные изотермы в основном металле.

Для определения необходимых энергетических характеристик лазерного излучения можно использовать формулу теплового баланса сварочной ванны и подводимой энергии.

Для расчётов использовали готовый математический программный комплекс. Для проверки полученных расчётных значений, производилась лазерная импульсная сварка алюминиевого сплава АМц толщиной 2 мм, на поверхность которого было нанесено гальваническое никелевое покрытие. Сварка осуществлялась на лазерном комплексе LRS-300AU с твердотельным лазером ( $\lambda=1,06$  мкм) по следующим режимам: мощность в импульсе 80 Вт, длительность импульса 40 мс, диаметр луча 2 мм, величина перекрытия 70%.

После сварки производилось измерение геометрических размеров сварного соединения. В результате было установлено, что расчётные значения близки по своим значениям к реальным геометрическим размерам соединения.

## **Применение импульсной дуговой сварки для изготовления тонкостенных стальных конструкций**

Никонов А.Н.

Научные руководители – Степанов В.В., Федоров С.А.

МАИ, г. Москва

В настоящее время развитие современного машиностроения достаточно часто приводит к необходимости соединения тонкостенных конструкций, изготовленных из нержавеющей сталей. Одной из основных проблем при изготовлении таких изделий является сложность получения качественных сварных соединений, связанная с вероятностью возникновения прожога из-за больших деформаций кромок непосредственно в процессе сварки.

Анализ условий формирования сварных соединений из тонколистового материала показал, что временные деформации обычно проявляются в депланации кромок – выходе их из плоскости равновесия и подъёме над плоскостью первоначального расположения (или над подкладкой) на определённую высоту. Причём степень деформации зависит от множества факторов: теплофизических свойств материала, характера теплового воздействия, толщины и жёсткости свариваемых кромок, наличия зазоров в стыке и схемы закрепления деталей. В литературе отмечается, что временные деформации находятся в прямой зависимости от погонной энергии и параметров режима, и особенно от скорости сварки.

Для устранения появляющихся в процессе сварки деформаций возможно применение специальной оснастки с системой прижимов. Однако, для ряда конструкций, главным образом крупногабаритных, применение такой оснастки оказывается невозможным и процесс сварки необходимо проводить "на весу". В данном случае наиболее для обеспечения требуемого качества соединений предпочтительно процесс сварки проводить с малой погонной энергией. Это с одной стороны обеспечит минимальную деформацию конструкции, но с другой стороны, из-за малого тепловложения, может затруднить качественное формирование сварного шва. В связи с этим для проведения процесса сварки целесообразно использовать импульсную дуговую сварку, при которой сварочный ток подаётся импульсами большого значения, а в промежутках между импульсами горит маломощная дуга.

На сегодняшний день на рынке представлено несколько готовых технологических решений технологий импульсной дуговой сварки тонколистового материала из нержавеющей стали. Был проведён анализ наиболее широко применяемых способов импульсной дуговой сварки: STT (компания LincolnElectric), ColdArc (компания EWM), CMT (компания Fronius), FastRoot (компания Kemppi) и др. В результате было определено, что при реализации данных способов требуется применение специального оборудования, включающего инверторный источник питания и механизм подачи электродной проволоки, а минимальное тепловложение достигается за счёт контроля параметров сварки при создании контролируемого короткого замыкания на участке "электродная проволока – изделие". Теоретическая оценка выбранных способов сварки показала возможность их применения для сварки тонколистовых стальных изделий.

Для изготовления внешнего корпуса охлаждения вакуумной установки была выбрана технология ColdArc от компании EWM. Сварку изделия осуществляли "на весу" после предварительной сборки и прихватке в 8 точках на установке Phoenix 303 coldArc по следующим режимам:  $I_{св} = 80 \text{ А}$ ,  $U_d = 14,5 \text{ В}$ , толщина материала «1 мм», скорость подачи проволоки 1,2 м/мин, режим ColdArc.

После сварки сварной шов контролировался визуально и методом опрессовки под давлением 10 атм. В результате было установлено качественное формирование сварного соединения и герметичность изделия.

## **Исследование влияния эффекта Ребиндера на параметры равноканального углового прессования металлических материалов**

Пан А.С.

Научный руководитель – Петров А.П.

МАИ, г. Москва

При изготовлении современных видов металлических материалов с ультрамелкозернистой (УМЗ) и нанокристаллической (НК) структурами очень часто возникают диаметрально противоположные требования к их механическим свойствам. Наглядно это видно на примере противопоставления эксплуатационных свойств и свойств необходимых для обработки. Конструкционные и другие материалы во время работы должны обладать высокой прочностью и долговечностью, большой сопротивляемостью физико-

химическому действию среды, но в то же самое время при обработке давлением и резанием пониженным сопротивлением деформации и разрушению.

Целью работы является проведение анализа механизмов формирования нанофазных систем (НФС) при интенсивной пластической деформации (ИПД) с применением поверхностно-активных веществ (ПАВ) при прессовании.

Методы ИПД заключаются в деформировании заготовок с большими сдвиговыми степенями деформации в холодном состоянии или при относительно низких температурах нагрева  $T < (0,3 \dots 0,4) T_{пл}$  и высоком давлении, что позволяет получать объемные беспористые металлические наноматериалы с однородной по всему объему заготовки наноструктурой с большеугловыми границами зерен.

Важнейшую роль в процессах придания необходимой структуры играют поверхностные физико-химические явления, от которых зависит взаимодействие частиц дисперсных фаз между собой и с окружающей средой и, в конечном счете – сцепление частиц.

Регулирование поверхностных явлений и процессов с помощью ПАВ, позволяет широко варьировать (ослаблять или усиливать) сцепление между частицами дисперсных фаз и изменять тем самым в желаемом направлении механические свойства дисперсных систем и материалов.

В данной работе было проведено исследование процесса ИПД с помощью математического моделирования. Математическое моделирование осуществляли методом конечных элементов, с использованием программы Deform 3D. В результате расчета модели получают изображения заготовки с полями температур, напряжений, деформаций и другими параметрами процесса.

### **Применение жаростойких сплавов на основе интерметаллида титана, изготовленных методом ЭВКР**

Патрушев А.Ю.

Научный руководитель – Серов М.М.

МАИ, г. Москва

В настоящее время одной из основных задач материаловедения является создание новых конструкционных материалов, которые могут применяться в условиях повышенных температур и агрессивных окружающих средах.

Метод ЭВКР позволяет получать дискретные волокна жаростойких сплавов на основе интерметаллида титана. Достоинством дискретных материалов является возможность получения уплотнительных материалов с достаточно низкой плотностью и высокими показателями истираемости без износа.

Сущность метода ЭВКР заключается в плавлении нижнего торца стержня, который вертикально расположен по отношению к вращающемуся диску-кристаллизатору, и приведении сформированной капли расплава в контакт с остро заточенной рабочей кромкой вращающегося диска- кристаллизатора. На рабочей кромке диска происходит охлаждение материала со скоростью до миллиона градусов в секунду и затвердевание в виде волокна толщиной 20-150 мкм. Могут быть получены как непрерывные, так и мерные волокна длиной от 3-5 мм и более. Благодаря сверхвысоким скоростям охлаждения получаемые материалы обладают повышенными механическими характеристиками и

исключительной структурной однородностью. Плавление материала бесконтактным способом наряду с возможностью использования инертной атмосферы или вакуума обеспечивает чистоту получаемого материала и стабильность его химического состава.

Полученные таким способом жаростойкие сплавы на основе интерметаллида титана, такие как ВТИ-2 и ВТИ-4, которые значительно превосходит рабочий диапазон температур технического титана 500-600°С.

Эти сплавы перспективны для использования в качестве матричного материала для интерметаллидных композиционных материалов, упрочняемых волокном карбида кремния, обеспечивающих высокие удельные характеристики:  $\sigma/d > 46$  км (усл. ед.);  $\sigma_{100}^{650} / \delta > 25$  км (усл. ед.). Помимо этого, дают возможность значительно сэкономить от снижения массы конструкции, уменьшения расхода топлива, стоимости обслуживания ремонта. Применение жаростойкие сплавы находят, прежде всего, в авиационной промышленности для изготовления деталей горячего тракта газотурбинных двигателей, изготовления деталей планера; в энергетическом машиностроении для изготовления турбин электрогенераторов; в газо- и нефтеперерабатывающих установках.

Как вывод можно отметить, что полученные жаростойкие сплавы методом ЭВКР в скором заменят морально устаревшие методы получения дискретных волокон в силу своей дешевизны, высокой производительности и широком спектре применения материалов.

### **Влияние температурных режимов модифицирующей обработки на механические свойства силумина**

Петров И.А., Шляпцева А.Д.

Научный руководитель – Ряховский А.П.

МАИ, г. Москва

Известно, что термовременная обработка (ТВО) зарекомендовавшая себя в качестве эффективного способа улучшения свойств расплава в жидком состоянии, способствует получению повышенных эксплуатационных свойств сплава. Однако необоснованно высокие температуры перегрева могут значительно ухудшить качество расплава за счет угара модифицирующих и легирующих добавок и повышенного газонасыщения. Поэтому необходимо определение оптимальных режимов термовременной обработки, учитывая состав конкретного сплава и введенные модифицирующие добавки.

В настоящей работе было исследовано влияние на механические свойства сплава АК12 термовременной обработки расплава, а так же температуры ввода в расплав комплексного модифицирующего флюса (КМФ), разработанного на кафедре «ТиСАПР МП» и содержащего ( $K_2TiF_6 + BaCO_3 + C$ ).

Проводили две опытные плавки при различных температурах выдержки немодифицированного расплава: при 730°С и при 820°С. Далее производили заливку в песчано-глинистую форму при температуре 710°С. Результаты проведенных исследований показали эффективность ТВО. В результате ТВО увеличился предел прочности сплава (с 135 до 145МПа), увеличилось более чем в 2 раза относительное удлинение (с 2,1% до 5,0%).

Для определения оптимальной температуры ввода КМФ, производили обработку расплава при температурах: 740, 760, 780, 800, 820°С. С повышением температуры ввода флюса в расплав увеличиваются механические свойства сплава АК12. Так повышение температуры ввода на 80°С с 740 до 820°С позволило значительно увеличить относительное удлинение сплава (с 9,2 до 14,5%).

Таким образом, обработка расплава КМФ при повышенных температурах является эффективным способом, позволяющим значительно повысить механические свойства силуминов.

## **Разработка технологического процесса изготовления детали «Основание»**

Пряхина Е.М.

Научный руководитель – Можегова Ю.Н.

КГТА им. В.А.Дегтярёва, г. Ковров

В настоящее время в самолетостроении, машиностроении и др. отраслях промышленности одним из основных показателей эффективного развития производства является повышение производительности. Поэтому на предприятиях используют модернизацию имеющихся технологий изготовления изделий и применение современного оборудования с ЧПУ для изготовления изделий.

Цель работы: разработка технологического процесса, позволяющего повысить производительность изготовления детали.

Основными задачами работы являются выбор оптимального способа получения заготовки и разработка ТП механообработки с максимальной производительностью.

Для изготовления детали «Основание» выбран материал – алюминиевый деформируемый сплав АК6. Данный материал обладает хорошей пластичностью и стойкостью к образованию трещин при горячей штамповке. По химическому составу близок к дуралюмину, имеющим высокое содержание кремния. Сплав склонен к коррозии под напряжением, поэтому детали защищают лакокрасочными покрытиями.

Деталь «Основание» представляет собой цилиндр с четырьмя лапками с шероховатостью Ra 12,5 мкм, имеющими отверстия для крепления. Отверстия выполняются по 9 качеству с шероховатостью Ra 6,3 мкм. Они предназначены для установки и крепления детали к корпусу. В центре детали ступенчатое сквозное отверстие с канавкой и внутренней резьбой М60х1 с шероховатостью Ra 3,2 мкм, выполняемое по 7 качеству, которое так же предназначено для крепления детали. Деталь имеет два глухих паза на боковой поверхности шероховатостью Ra 12,5 мкм, выполняемых по 9 качеству и служащих для фиксации сборочной единицы, и небольшое отверстие, обеспечивающееся закреплением кондуктора. На наружной поверхности детали имеются канавка и наружная резьба М66х1, выполняющиеся с шероховатостью Ra 3,2 мкм. Так же деталь имеет внутреннюю и наружную фаски. Габаритные размеры детали 110х27 мм.

Деталь «Основание» выпускается в среднесерийном производстве. Исходя из материала детали, который имеет высокие пластичные свойства, предлагается получать заготовку путём горячей штамповки на прессе К-0036. В процессе изготовления деталь будет подвергаться двум термическим обработкам: нагревание в печи перед штамповкой и закалкой детали для улучшения обрабатываемости. После штамповки на универсальном токарно-винторезном станке 16К20 подрезается облой. Данный станок выбран исходя из имеющегося оборудования. После закалки производится очистка дробеструйная. Основная обработка детали – точение на токарном станке с ЧПУ 16А20Ф3. Применение станка с ЧПУ уменьшает трудоёмкость обработки и повышает ее производительность, что отвечает поставленной цели проектирования. Для выполнения крепёжных отверстий используется координатно-расточной станок 2А450 для обеспечения допуска позиционирования. Для фрезерования паза необходим фрезерный станок с ЧПУ 6Р13Ф3. После обработки на деталь предлагается нанести покрытие для снижения коррозии материала. Контроль детали будет производиться на нескольких этапах: контроль твёрдости после термической обработки, контроль после очистки дробеструйной, контроль после промывки и итоговый контроль после получения покрытия.

Таким образом, в предлагаемой технологии обработки детали «Основание» решены поставленные цель и задачи – обоснован технологический процесс механической обработки, позволяющий благодаря введению высокопроизводительной технологии горячей штамповки и обработки на станках с ЧПУ повысить производительность изготовления изделия.

## **Анализ типов литниковых систем и решение задачи их выбора**

Степынин С.С., Игнатов Д.О.

Научный руководитель – Моисеев В.С.

МАИ, г. Москва

Литниковая система – это система каналов литейной формы, с помощью которых металл подводят в ее рабочую полость с заданной скоростью. Кроме этого литниковая система (ЛС) должна обеспечивать задержание вторичных шлаковых включений, которые образуются на начальной стадии течения расплава. При этом металл должен поступать в полость формы равномерно и непрерывно без засасывания воздуха потоком расплава.

Эффективность работы ЛС удастся повысить, если создаются условия направленного затвердевания отливки, также важно, чтобы её конструкция была экономически выгодной т. е. имела рациональные затраты на ее изготовление и последующее отделение от отливки [1].

При литье в песчаные формы, в частности легких сплавов, различают следующие типы литниковых систем: верхнюю, нижнюю, боковую, ярусную, вертикально-щелевую и комбинированную. Такое разнообразие конструкций ЛС объясняется тем, что перед ЛС ставятся разнообразные задачи, определяемые, прежде всего, геометрией отливки и техническими условиями на ее изготовление. Конечно же, главной задачей является заполнение рабочей полости формы расплавом. Также значимыми являются условия направленности затвердевания и непрерывности питания отливки [2].

Выбор того или иного типа Л.С. зависит от многих факторов: положение отливки в форме и наличие разъема формы, габаритные размеры и конфигурация отливки, предъявляемые к отливке требования (ответственная или неответственная), свойства сплава, возможности питания отливки прибылями, удобства удаления питателей от затвердевшей отливки.

Кроме выбора типа ЛС важно правильное назначение места подвода расплава к отливке. При выполнении этой задачи следует учитывать конфигурацию и расположение отливки, температурный режим остывающей отливки, режим течения расплава и многое другое [1,2].

Не менее важным элементом ЛС является литниковая чаша или литниковая воронка, выбор между которыми в основном зависит от количества заливаемого металла [1,2,3].

Ошибки в построении Л.С. приводят к возникновению в отливках основных дефектов: неслитин, спаев, недоливов, неметаллических включений, усадочных раковин, трещин, коробления, ужимин, пригара и так далее[1]. Но, кроме дефектов, возникают лишние расходы: металла, материала форм и стержней, энергии, оплата труда и т.п. [1].

Расчет габаритов ЛС производится на основе объемного расхода расплава через её основные элементы. Сначала находится наименьшее поперечное сечение стояков, а затем через ранее принятые соотношения  $F_{\text{стояка}}/F_{\text{коллектора}}/F_{\text{питателей}}$  находят площади суммарных поперечных сечений остальных элементов ЛС. Расчет же расхода расплава может производиться разными способами, наиболее распространены три из них[1]:

- Определение расхода расплава на основе оптимальной продолжительности заливки[1]
- Определение расхода при условии заполнения с минимально допустимой турбулентностью потока[2]
- Определение расхода расплава из условия обеспечения заполняемости формы [4]

Список использованной литературы:

Галдин Н.М. Литниковые системы для отливок из легких сплавов.- М.: Машиностроение, 1978.-198 с., ил.

Цветное литье: Справочник/Н.М. Галдин, Д.Ф. Чернега и др.; Под общ. Ред. Н.М. Галдина.- М.: Машиностроение, 1989.-528 с.: ил. – (Технология литейного производства).

Рабинович Б.В. Введение в литейную гидравлику М., «Машиностроение», 1966. 423 с.

Чистяков В.В., Воздвиженский В.М. Расчет минимального узкого сечения литниковой системы для отливок коробчатой формы.- «Известия высших учебных заведений», 1972, № 4, с 146-149

## Анализ гипотез твердофазных процессов

Стрижов Д.А.

Научный руководитель – Жаров М.В.

МАИ, г. Москва

Пластическая деформация – процесс, протекающий при производстве изделий из различных сплавов. В результате пластической деформации могут образовываться фазы, которые оказывают влияние на процесс обработки изделий при их изготовлении

Для образования новых фаз необходимо перераспределение составляющих сплава, которое может быть осуществлено только диффузией. Но диффузия требует времени для ее протекания, а при пластической деформации, как правило, нагрузки воздействуют очень непродолжительно. Следовательно, для образования новых фаз в таких условиях в сплавах должна иметь место аномальная диффузия.

Был проведен анализ фазовых и структурных превращений в металлических сплавах при пластической деформации, как процессов ускоренной диффузии, описываемых моделью сдвиговой трансформационной зоны.

На основании анализа при ударах молота об металлический сплав, было обнаружено, что после твердофазных превращений протекающих при пластической деформации фазовый состав сплава сильно изменился. Если до деформации в структуре сплава была равновесная  $\beta$ -фаза, то после деформации появляются пики соответствующие новой фазе. Образование новой фазы неизбежно требует активной диффузии в процессе пластической деформации, а диффузия в таких условиях может быть только аномальной.

Проанализировав микроструктуру металлических сплавов при растяжении, получили, что на дне сформировавшихся «кратеров» находятся частицы, состав которых существенно отличается от среднего состава сплава. Такие частицы могли сформироваться под действием твердофазных реакций в процессе пластической деформации.

При трибологических проведены исследования структуры и фазового состава исходного образца и после обработки трением с помощью рентгеноструктурного анализа. В результате трибологических испытаний обнаружено образование новых фаз в области контакта трущихся поверхностей. Причина появления новых фаз связана с твердофазными превращениями, инициированными механической нагрузкой, превышающей предел текучести материала в зоне контакта.

На себя обращает внимание тот факт, что в течение короткого времени – удара, отрыва или трении достаточно большое количество атомов успевают сосредоточиться в частице, размер которой составляет несколько микрон.

Такой твердофазный процесс осуществляется благодаря диффузии. Нагрузка создает сдвиг, который приводит к переклочению химических связей и изменяет симметрию кристаллической фазы.

В работе при анализе процессов пластической деформации металлов сделана попытка, объединить теорию структурно-фазовых превращений с теорией физики прочности и выработать общий взгляд на происходящие процессы.

Показано, что при пластической деформации металлов возможно появление очагов локального плавления вызванного механической нагрузкой.

## **Исследование технологии процесса получения слоистых плит из алюминиевых сплавов комбинированным способом**

Сумин С.А.

Научный руководитель – Шлёнский А.Г.

МАИ, г. Москва

Одно из направлений современного прокатного производства, это повышение качества производимой продукции, поэтому на передний план выдвигаются задачи по созданию высокоэффективных, конкурентоспособных материалов и технологических процессов.

К моменту начала исследований, результаты которых излагаются в настоящей работе, производство слоистых плит из высокопрочных алюминиевых сплавов прокаткой было освоено промышленностью, однако имелось ряд недостатков, которые препятствовали дальнейшему внедрению данных материалов.

В частности, отсутствовала технология получения плит с увеличенной толщиной одного из слоев более 10-15%. Возникали трудности в получении плит толщиной более 20мм. Условия для схватывания слоев по мере удаления от поверхности (т.е. с увеличением толщины одного из слоев) сильно ухудшаются.

Таким образом, для получения слоистых плит с увеличением толщины, способом прокатки вероятнее всего потребуются использование комбинированных процессов, например, предварительная сварка взрывом или осадка исходных заготовок с заданным соотношением слоев и их дальнейшая прокатка.

Учитывая высокие требования, предъявляемые к разрабатываемым слоистым материалам, а так же отсутствие экспериментальных данных по прочности и пластичности соединения в данной работе была поставлена задача проследить, за процессом формирования и образования соединения на этапах осадки и прокатки пакетов с целью установления оптимальных режимов деформирования, гарантирующих требуемый уровень свойств.

Процесс осадки, обладая более широкими возможностями с точки зрения получения больших единичных обжатий на небольшой площади, позволяет обеспечить плотный физический контакт свариваемых поверхностей с определенной степенью проработки зоны соединения необходимой для предотвращения проскальзывания слоев при последующей прокатке пакета.

Выбор температурного интервала совместной горячей деформации осуществляется не только исходя из необходимости обеспечения максимальной прочности соединения слоев, но и возможности разрушения составляющих пакета вследствие изгиба полосы, образующегося за счет различия сопротивления деформации соединяемых сплавов. Изгиб полос может привести либо к невозможности дальнейшей прокатки, либо к поломке оборудования, а в готовом полуфабрикате может определить характер и уровень остаточных напряжений. Поэтому изучение прочности соединения материалов в интервале температур их обработка является необходимым при разработке режима деформирования.

В качестве исходных материалов использовались листы технологически чистого алюминия АД1 и заготовки размером 60x120x150 мм из алюминиевых сплавов 1901 и 1903 относящиеся к системеAL-Zn-Mg.

По разработанной технологии были изготовлены осадкой слоистые заготовки для последующей прокатки. Сравнительный анализ результатов исследований показал, что при прокатке заготовок, предварительно осаженных на плоских бойках, происходит раскрытие переднего конца полосы. При применении предварительно осаженных заготовок в фигурном штампе раскрытия полос при прокатке не наблюдалось.

Таким образом, процесс осадки является эффективным способом получения слоистых плит из алюминиевых сплавов с равным соотношением слоев. Однако он имеет ограничения по возможности получения крупногабаритных плит требуемой номенклатуры и в нашем случае может служить только промежуточной операцией для получения пакетов под последующую прокатку.

### **Автоматизация процессов сварки на предприятиях различных производств**

Телеш А.В.

Научный руководитель – Фролов В.А.

МАИ, г. Москва

Как известно, каждую отрасль современной промышленности отличают свои задачи, которые ставятся перед качеством выпускаемой продукцией. Для выполнения этих задач, а также для соответствия изделий требуемым эксплуатационным свойствам, применяют различные по своему составу и свойствам металлические и неметаллические материалы. Так, например, в авиареконструкции ценятся композиты и лёгкие металлы, в производстве ядерных реакторов – стали и сплавы, дополнительно легированные элементами, которые повышают коррозионную стойкость и сопротивляемость радиации. Самый надёжный и наиболее простой способ изготовления узлов и элементов конструкций из этих материалов – сварка. Одними из условий, предъявляемых процессу сварки в целом и соединениям в частности, являются высокое качество соединений, высокая скорость процесса, высокий показатель воспроизводимости (повторяемости) процесса. Всё это позволяет обеспечить автоматизация.

Автоматизация сварки – неотъемлемая часть технологического прогресса. Применение автоматизированных комплексов позволяет исключить человеческий фактор, тем самым повысив скорость и качество выполняемых процессов, особенно на производствах с большим объёмом однотипных сварочных работ. Так благодаря автоматизированным и роботизированным поточным линиям, применяемым в основном на конвейерах в автомобильной промышленности, количество выпускаемой продукции увеличилось с нескольких экземпляров до сотен штук в день.

Особое значение автоматизация сварки имеет в атомной, энергетической, судостроительной промышленности, в производстве химической аппаратуры, в ракетной технике, где всегда важно получать сварные соединения высокого качества.

Уровень автоматизации на производстве зависит от объёмов выпуска, количества сварных соединений, габаритов и массы изделия. Все эти условия прописываются в технической документации, предоставляемой отделом главного технолога.

### **Исследование влияния комплексного модифицирующего флюса на структуру и механические свойства сплава АК12М2**

Федорцов Р.С.

Научный руководитель – Петров И.А.

МАИ, г. Москва

Литейные сплавы системы Al-Si применяются для получения отливок литьем в землю только в модифицированном виде. Модифицирование необходимо для измельчения структуры сплава и повышения механических свойств. Для модифицирования силуминов широко применяются различные флюсы, содержащие поверхностно-активные элементы, такие как Na. Однако, существенным недостатком модифицирования сплавов натрием является малая длительность сохранения эффекта модифицирования и повышенная склонность сплавов к образованию газовой пористости. Исходя из изложенного, очевидно, что вопрос повышения уровня качества литых заготовок из силуминов путем модифицирования расплава остается актуальным.

В настоящей работе изучалось изменение механических свойств и микроструктуры сплава АК12М2, обработанного стандартным флюсом (состава: 62,5% NaCl; 25% NaF; 12,5% KCl) и комплексным модифицирующим флюсом (КМФ), разработанным на кафедре «Технологии и САПР МП» [1].

Результаты механических испытаний после термической обработки по режиму Т6 представлены в таблице №1. Обработка КМФ вызывает повышение механических свойств, особенно относительного удлинения сплава, превосходя аналогичные показатели сплава, обработанного стандартным флюсом, традиционно применяемого в промышленности.

Таблица 1. Механические свойства сплава АК12М2

АК12М2	Немодиф.	КМФ	Стандартный флюс
$\sigma_B$ МПа	199	217,4	221,5
$\delta$ %	1,5	4,0	3,1

Основной структурной составляющей сплава АК12М2 является грубая эвтектика ( $\alpha+Si$ ), так же присутствуют дендриты алюминия и отдельные кристаллы первичного кремния. В структуре по мимо основных составляющих, присутствуют фазы  $CuAl_2$  и Fe-содержащие фазы, которые трудно выявить на фоне основных структурных составляющих сплава АК12М2. Обычно этот сплав не подвергается термообработке, хотя такая обработка может существенно повысить пластичность. Нагрев силумина под закалку позволяет добиться полного растворения меди в  $\alpha$ -твердом растворе, а также фрагментации и частичной сфероидизации эвтектики ( $\alpha+Si$ ). Старение сплава АК12М2 приводит к образованию вторичных выделений кремния и фазы  $CuAl_2$  [2].

Исследование микроструктуры сплава АК12М2 показало, что обработка КМФ приводит к значительному измельчению эвтектики ( $\alpha+Si$ ), а так же к более равномерному распределению и измельчению дендритов  $\alpha$ -твёрдого раствора.

Таким образом, разработанный КМФ оказывает положительное воздействие на микроструктуру медистого силумина, что позволяет повысить механические свойства сплава. Проведённые исследования показали эффективность КМФ. Необходимо проведения дальнейшего исследования для определения возможности его промышленного применения при производстве отливок из литейных алюминиевых сплавов.

Список использованной литературы:

1. Петров И.А., Ряховский А.П., Моисеев В.С., Бобрышев Б.Л., Шляпцева А.Д. Перспективы использования углеродосодержащего материала для обработки силуминов. Литейщик России. 2016; №1 с. 28-32.
2. Белов Н.А., Савченко С.В., Белов В.Д. Атлас микроструктур промышленных силуминов: справ. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2009. – 204 с.

### **Алмазоподобные углеродные защитные покрытия на внутренних поверхностях фасонных объектов**

Харченко И.В., Иванов Н.А., Калинина Д.М.

Научный руководитель – Лозован А.А.

МАИ, г. Москва

Нанесение защитных покрытий на внутренние поверхности различных изделий является весьма сложной задачей. Степень сложности задачи определяется геометрией и размерами обрабатываемых полостей. Актуальность решения подобных задач для нужд аэрокосмической отрасли только растет в связи с постоянно растущими требованиями к служебным характеристикам изделий.

В же время существенно расширился спектр материалов, на которые надо нанести покрытия. Помимо напыления на традиционные металлические изделия растет потребность в нанесении защитных покрытий на внутренние поверхности изделий из полимерных и композиционных материалов, все шире применяющихся в аэрокосмической и других отраслях промышленности.

В последнее время все более широкое применение в качестве защитных покрытий на внутренних поверхностях изделий находят различные типы углеродных покрытий, напыление которых реализуется плазменными методами. Весьма перспективным считается покрытие алмазоподобного углерода - АПУ (DLC в зарубежной литературе), обладающее высокими служебными характеристиками.

Большинство АПУ пленок являются структурно аморфными. В целом структура АПУ пленок существенно зависит от метода осаждения и используемых источников углерода, таких как твердые мишени из графита, жидкие или газообразные углеводороды. В результате получают пленки с различным соотношением  $sp^2$ - и  $sp^3$  связей атомов углерода (в основном зависит от энергии ионов углерода во время формирования пленки), что существенно влияет на их свойства. Пленки с высокой долей  $sp^2$  связей атомов углерода относительно мягкие и ведут себя скорее как графит в процессе трибологических испытаний. Пленки с большим количеством  $sp^3$  связями атомов углерода подобны алмазу и обеспечивают уникальные комбинации высокой твердости, низкого трения, хорошей электрической изоляции,

химической инертности, биологической совместимости, гладкости и прочности. Важным является содержание водорода в пленке, которое критически определяет ее структуру на атомном уровне и, следовательно, физические свойства пленок.

Среди методов нанесения углеродных пленок используются такие как вакуумно-дуговое напыление, импульсное лазерное осаждение и др. Однако, большинство методов осаждения демонстрирует весьма низкую скорость напыления (<1 мкм/час) и имеют ограниченную применимость или эффективность для нанесения покрытий на внутренние поверхности, а также создают высокие остаточные напряжения в пленке, что ограничивает практическую толщину покрытия до нескольких микрометров.

Нанесение с высокой скоростью толстых АПУ пленок в настоящее время реализовано с помощью метода на основе разряда с полым катодом, в том числе и для нанесения защитных покрытий на внутренние поверхности изделий.

Учитывая широкие возможности развития этого метода, такие как легирование АПУ различными элементами (металлами, металлоидами и газами), формирование дискретных фаз в нанокompозитных и сверхрешеточных покрытиях и нано-слоистых структур, в МАИ на кафедре TiCAIP МП разработана и создается специализированная вакуумная установка с использованием разрядов различного типа для осаждения алмазоподобного углерода в качестве защитного покрытия на внутренних поверхностях фасонных объектов.

## **Переработка шлака магниевого литья**

Хватов Е.В., Кипин И.А.

Научный руководитель – Бобрышев Б.Л.

МАИ, г. Москва

В промышленных условиях при обработке магниевых расплавов существенное количество металла оказывается замешанным в шлак и безвозвратно теряется.

В настоящей работе была проведена оценка возможности извлечения годного сплава из шлака.

В предварительно разогретый тигель загружался шлак из шлаковниц, в которых он собирался в процессе плавки и обработки расплава.

При  $T=750-760^{\circ}\text{C}$  на поверхность расплава наносился флюс ВИ2 для предотвращения и ликвидации очагов горения. После чего расплав выдерживается в течении 20 минут. Затем проводили продувку аргоном и вновь выдерживали 20 минут и сливали расплав в изложницы.

Механические свойства отдельно отлитых образцов из металла, восстановленного из шлака, полностью соответствовали.

Исследования показали, что металл, восстановленный из шлака, может быть вовлечен в технологический процесс в качестве шихты для приготовления сплава МЛ5.

## **Влияние обработки фреоном сплава АК12 на его механические свойства и структуру**

Шляпцева А.Д., Галкин К.А.

Научный руководитель – Ряховский А.П.

МАИ, г. Москва

В настоящей работе изучали возможность повышения механических свойств сплава АК12 при обработке расплава углеродосодержащим газом Фреон12 (R12).

В качестве модельного сплава для исследований был выбран алюминиевый литейный сплав АК12 (АЛ2), содержащий 11,3% Si. Содержание Fe не превышало 0,3%. Расплав предварительно дегазировали аргоном. При температуре 760-770°C проводилась обработка расплава фреоном или совместная обработка фреоном и аргоном. Затем расплав выстаивали, после чего с поверхности расплава снимали шлак. При температуре расплава 710°C в подготовленную песчано-глинистую форму производили заливку гагаринских образцов для механических испытаний.

Сравнение полученных данных механических испытаний показало, что продувка фреоном 12 оказывает модифицирующее воздействие на сплав АК12: по сравнению с немодифицированным сплавом относительное удлинение возрастает с 2,08 до 5,66%, предел прочности увеличивается с 152 до 165 МПа. В микроструктуре опытного сплава по сравнению со структурой немодифицированного сплава наблюдается частичное облагораживание и измельчение частиц кремния в эвтектике.

Совместная продувка сплава АК12 фреоном 12 и аргоном приводит к тем же результатам, что и при продувке фреоном без аргона: частичное облагораживание и измельчение частиц кремния в эвтектике, и повышение механических свойств сплава (относительное удлинение 5,4%, предел прочности 160МПа).

Анализ результатов проведенной работы показал перспективность исследований по применению в качестве модификаторов силуминов углеродосодержащих материалов, в частности газа из группы фреонов.

## **Исследование свойств жаростойких сталей изготовленных методом ЭВКР**

Ярошенко А.С.

Научный руководитель – Серов М.М.

МАИ, г. Москва

В современном газотурбинном двигателестроении существует проблема создания надежных уплотнительных материалов. Данные материалы, например, призваны обеспечить эффективную работу газотурбинных двигателей при существенном снижении удельного расхода топлива. В данной работе рассмотрен способ получения волокон жаростойких сплавов на основе железа, содержащих хром и алюминий и дополнительно легированных редкоземельными элементами (РЗМ) и металлами платиновой группы - платиной и иридием. Для изготовления волокон применяется метод экстракции

висящей капли расплава (ЭВКР). В дальнейшем прессованием и спеканием волокон могут быть изготовлены пористые материалы для получения истираемых уплотнений проточной части турбины авиационных газотурбинных двигателей.

Уплотнительные материалы отличаются противоречивостью предъявляемых к ним требований: сочетание высокой истираемости и эрозионной стойкости, необходимой термо- и жаростойкости. Уплотнительные материалы должны легко срабатываться при врезании в них торцов рабочих лопаток, минимально их изнашивая. Что объясняет сложность их получения.

Так - же метод успешно используется при производстве металлических волокон на основе Al, Cu, Ni, Ti для:

- Нетканых иглопробивных фильтровальных материалов для автотракторной и сельскохозяйственной техники;
- Нетканых иглопробивных фильтров многоразового использования для молока, растительных масел, соков и других пищевых жидкостей;
- Игольчатого наполнителя для фрикционных тормозных колодок железнодорожного и автомобильного транспорта;
- Композиционных экранирующих материалов;
- Материалов с эффектом памяти формы;
- Светоотражающих покрытий для кровли;
- Поглотителей СВЧ-излучения;
- Наполнителей для железобетонных конструкций;
- Обогреваемых дорожных покрытий и взлетно-посадочных полос.

## **СЕКЦИЯ № 49. Управление качеством и сертификация**

Руководитель секции: д.т.н., профессор Васильев В.А.,  
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации

---

### **Разработка методических указаний к производству противопожарных дверей**

Абдурахманов В.Г.

Научный руководитель – Ухов П.А.

МАИ, г. Москва

Введение новых международных стандартов характеризуется подъемом стандартизации РФ в целом. Технический Регламент Таможенного Союза «О требованиях пожарной безопасности» планируется к выпуску в 2017 году, и будет содержать инновационные требования применительно к продукции, подлежащей обязательной сертификации пожарной безопасности. В связи с этим, возникает необходимость в более ответственном подходе к разработке нормативных документов со стороны производителя.

Разработка нормативного документа (Технические Условия) возложена на производителя, что значительно усложняет процесс сертификации, и, как следствие, по данным одной из ведущих испытательных лабораторий, 69% сертифицируемых противопожарных дверей не проходят этап испытаний на огнестойкость. Это связано с отсутствием Государственного Стандарта РФ, устанавливающего требования к производству противопожарных дверей.

Работа включает в себя анализ национальных и международных стандартов применительно к производству и сертификации противопожарных дверей, изучение типовых Технических Условий, изучение перспективного проекта Технического Регламента Таможенного Союза «О требованиях пожарной безопасности», исследование прямо-сдаточных испытаний, а также разработка методических указаний, которые будут содержать рекомендации к производству противопожарных дверей согласно всем требованиям пожарной безопасности.

На практическом уровне результаты данной работы будут применены в компании «ВКН Констракшн» на этапе прямо-сдаточных испытаний противопожарных дверей. Внедрение данной методики на производство обеспечит повышение качества противопожарных дверей, упростит процедуру сертификации, а также значительно удешевит стоимость соответствующих работ. Также, материалы данной работы будут использоваться в компании «ПожСертТест» при оказании консультационных услуг для производителей, касающихся производства, хранения, транспортировки и сертификации противопожарных дверей.

## **Сотрудничество с поставщиками на основании выборок и проверок**

Алдошина А.И.

Научный руководитель – Одинокоев С.А.

МАИ, г. Москва

Часто используемым методом выбора поставщиков для дальнейшего сотрудничества является применение выборок и проверок. Для совершения выборок и проведения проверок есть различные методы организации: выборочная, сплошная (документальная и фактическая), аналитическая и комбинированная.

Однако, в случаях подобных проверок, большую роль играет человеческий фактор, честность, обоснованность и компетенция в принимаемых решениях. Решение о результате проверки в итоге принимают люди, которых может подвести память, органы чувств (при использовании органолептических методов), чужое мнение, симпатия или антипатия.

В связи с этим использование выборок и проверок комбинируют с другими статистическими методами, позволяющими оценить качество поставщика на основании четких цифровых показателей.

Существуют так же различные принципы выбора поставщиков, такие как выбор поставщика с предложением наименьшей стоимостью необходимой продукции, или же поставщика с наличием сертификата системы менеджмента качества. Данные принципы позволяют организациям, в первом случае, получать больше товара за меньшие средства. Здесь качеству отводится вторая роль, так как количество брака перекрывается общим количеством поставляемой продукции. Таким образом долгое время действовали поставщики из Китая. В итоге, конечный потребитель выбирал их продукцию, осознавая, что даже замена соответствующих деталей или целого товара обойдется дешевле, чем изначальная закупка у проверенного, но дорогостоящего поставщика. Во втором случае, сотрудничество основывается на вере в сертификат. К сожалению, нельзя отрицать существование организаций, получивших сертификат системы менеджмента качества, и в дальнейшем не поддерживающих высокий уровень управления своими процессами. Также, при наличии сертификата системы менеджмента качества, нельзя быть уверенными в качестве выпускаемой организацией продукции. Получается что ни цена, ни даже сертификат, не дают полных знаний для выбора наилучшего поставщика.

Если же применять и выборки, и принципы выбора поставщика, то вполне можно получить ситуацию, когда на сам выбор повлиял и человеческий фактор, и принцип, применяемый организацией, который только усугубил общее положение дел. Таким образом, оптимальными методами остаются статистические, так как цифровой расчет можно доверить формулам и технике, что существенно снижает ошибки человеческого фактора.

При использовании статистических методов так же, как и при использовании любых других, невозможно избежать различного рода трудностей. Основная их часть заключается в методах расчета, выборе оцениваемых показателей и правильности получения начальных данных для анализа системой.

Подводя итог, можно заметить, что использование методов и принципов одновременно может привести к увеличению влияния человеческого фактора на

сотрудничество с поставщиком. Однако, ни выбор только с помощью выборок и проверок, ни выбор на основании принципа организации, также не могут дать точного ответа на вопрос, с каким поставщиком лучше сотрудничать. В данном случае больше всего подходят статистические методы оценки с минимальным уровнем влияния человеческого фактора, которые отображают в виде цифрового результата необходимость сотрудничества с той или иной организацией.

## **Плюсы применения контрольной карты Шухарта на производстве**

Ахмедянова А.Р.

Научный руководитель – Борисова Е.В.

МАИ, г. Москва

На сегодняшний день все чаще и чаще успешные компании начинают применять инструменты контроля качества у себя на производстве. Одним из самых популярных является контрольная карта У. Шухарта, которая позволяет своевременно выявить какую-либо нестабильность, что помогает нам получить управляемый и контролируемый процесс.

Контрольные карты впервые были введены в 1924 году Уолтером Шухартом для того, чтобы постараться снизить изменчивость процессов путем исключения отклонений, которые вызваны не системными причинами.

Производители, которые дорожат и желают процветания своим предприятиям, пользуются контрольной картой Шухарта, потому что, во-первых, благодаря ей вы можете определить границы системной вариабельности (изменчивости) процесса, а, во-вторых, спрогнозировать поведение процесса в ближайшем будущем на основе прошлых данных о процессе. На данный момент существует два вида контрольных карт: качественные (годен - не годен) и количественные, а также они делятся на карты индивидуального значения, скользящих размахов, среднеквадратичного отклонения, карты медианы, среднего значения и размаха.

Контрольная карта Шухарта будет эффективным средством управления процессом только в том случае, когда сбор результатов и их непосредственная регистрация в карте будут осуществляться в режиме реального времени. Для того, чтобы построить карту, существует определенный алгоритм, который включает в себя анализ процесса (задается вопросом о существующей проблеме), выбор процесса, сбор данных (на данном этапе вы собираете полную информацию о процессе, поскольку собранные данные представляют из себя основу проведения дальнейших операций), вычисление значений контрольной карты (определение искомым данных, центральной линии, верхних и нижних границ), построение контрольной карты (строим графическое отражение полученных данных), проверка стабильности процесса, анализ контрольной карты. Затем мы делаем вывод о стабильности или нестабильности процесса.

Как и любой другой инструмент контроля качества, контрольные карты обладают достоинствами и недостатками. Благодаря контрольным картам мы можем визуально определить момент изменения процесса, разницу между случайными и системными нарушениями, а также снизить потери от брака, за счет вовремя выявленных дефектов. К недостаткам контрольных карт можно отнести лишь то, что необходимы более высокие требования к подготовке

персонала, что, на мой взгляд, не является большим недостатком, поскольку развитие персонала для руководства является важным аспектом рабочего процесса.

### **Контроль качества и испытания смартфонов**

Ахрамович А.А., Гаврилков С.А.  
Научный руководитель – Борисова Е.В.  
МАИ, г. Москва

Ассортимент смартфонов на сегодняшний день характеризуется чрезвычайно высоким разнообразием устройств по цене и функциональным характеристикам. Структура себестоимости смартфона зависит от множества статей калькуляции, однако мало кто знает, что контроль качества и затраты на испытания как опытных образцов, так и конечного продукта являются одним из определяющих ценообразующих факторов в общем их объеме, а качество смартфона в большинстве своем зависит от степени организации именно этих процессов.

Производство смартфона является довольно сложным процессом, состоящим из множества этапов, большинство из которых реализуются параллельно друг с другом. Это происходит из-за того, что смартфон – это технически сложное устройство, состоящее из множества компонентов, производство которых требует затрат большого количества ресурсов.

Большая номенклатура компонентов и комплектующих, обширное количество их производителей и поставщиков, а также большое количество подпроцессов: все это обеспечивается непрерывным контролем и процедурами испытаний для получения стабильного качества конечного продукта. В большинстве своем производство комплектующих смартфона автоматизировано, поэтому большинство процедур контроля качества как конечного образца, так и незавершенного производства происходит в автоматическом виде с использованием статистических методов путем считывания информации специальными приспособлениями. Таким образом производство особенно важных компонентов обеспечивается сплошным контролем качества.

Как уже было указано выше, одним из ключевых процессов, влияющих на качество и себестоимость смартфона, являются испытания конечного образца и комплектующих. У большинства производителей смартфонов имеются в наличии свои тестовые лаборатории, в которых происходит тестирование своего собственного готового продукта и проверка всех закупаемых компонентов, а также рассмотрение компонентов от новых поставщиков.

Тестирование компонентов и комплектующих включает в себя такие процессы как:

проверка на устойчивость к агрессивной среде; проверка прочностных характеристик компонентов; проверка олеофобного покрытия дисплея по капли жидкости, помещенной на него; определение скрытых дефектов мелких деталей, плат и т.п. в рентгеновских установках; тестирование аксессуаров на примере наушников путем их стирания; тестирование не установленных фотокамер и работы ПО.

Тестирование готовой продукции состоит из следующих процессов: испытания в климатических лабораториях; испытания в установке, отвечающей за искусственное старение – проверка на устойчивость к влажности, температуре, ультрафиолету и т.п.; испытания в камерах для тестирования уровня защиты по стандарту IP 67/68 от влаги и пыли; испытание на механическую прочность экрана с помощью металлического шарика; тестирование на истирание поверхности - автомат с надетыми на ручки джинсами, в кармашке телефон, ткань трется о корпус; тест на ресурс числа нажатий на экран в разных местах; тест на изгиб и истирание в разных условиях - телефон зажимается в двух лапках, и они начинают его выкручивать в разные стороны, пробовать на изгиб и шлифует поверхность разными материалами; тест на прочностные характеристики путем падения на металлическую поверхность с ~ 10 см и тому подобное.

Процессы контроля качества и испытаний смартфона оказывают сильное влияние на качество конечного продукта, и то, насколько хорошо были проработаны данные процессы, определит насколько долго и исправно смартфон прослужит потребителю.

## **Роль корректирующих действий в совершенствовании**

### **СМК предприятий**

Барменков Е.Ю., Бобрышев Е.Б.

Научный руководитель – Борисова Е.В.

МАИ, г. Москва

Корректирующие действия являются одними из важнейших элементов системы менеджмента качества, направленных на непрерывное совершенствование деятельности организации. Корректирующие действия связаны с решением следующих задач:

- анализ несоответствий в проектной и строительной продукции, поставляемых материалов и оборудования, результатах процессов СМК;
- установление причин несоответствий, допущенных дефектов, а также претензий и рекламаций от заказчиков, эксплуатирующих организаций, контрольных государственных органов;
- выработка мер по предупреждению их повторного появления в будущем;
- внесение необходимых изменений в процессы системы менеджмента качества;
- мониторинг и контроль осуществления внесенных изменений;
- анализ результативности предпринятых корректирующих действий.

Причины несоответствия должны устанавливаться и корректирующие действия должны разрабатываться для услуг, продукции и процессов. Потребность в корректирующих действиях возникает тогда, когда необходимо устранить причину обнаруженного несоответствия или другой нежелательной ситуации. В состав деятельности по выполнению корректирующего действия входит:

- планирование корректирующих действий;
- выполнение разработанных мероприятий;

- проверка и регистрация выполнения запланированных мероприятий;
- оценка результативности корректирующего действия.

Корректирующее действие не считается выполненным, если не будет подтверждена его результативность. В противном случае, должен быть проведен повторный анализ для выяснения причины несоответствия и принято решение о необходимости разработки новых мероприятий.

Входами процесса проведения корректирующих действий являются документально зафиксированные несоответствия из разных источников. Выходами процесса проведения корректирующих действий является положительный вывод о результативности проведенных корректирующих действий.

На основании выявленных несоответствий в процессе управления проектом руководитель проекта совместно с менеджером по качеству периодически должны проводить анализ всех зафиксированных несоответствий. В процессе анализа несоответствий устанавливаются причины их возникновения. Менеджер по качеству на основании жалоб и рекламаций, полученных от заказчиков, выявляет причины полученных рекламаций.

Разработка и выполнение корректирующих действий включает следующие процедуры:

- анализ обнаруженных несоответствий работ и процессов, включая установление причин несоответствий;
- оценивание необходимости корректирующих действий, чтобы избежать повторения несоответствий;
- определение и осуществление корректирующих действий;
- запись результатов предпринятых корректирующих действий;
- контроль и анализ результативности предпринятых корректирующих действий.

## **Внутренние аудиты в системах менеджмента качества**

Бобрышев Е.Б., Барменков Е.Ю.

Научный руководитель – Борисова Е.В.

МАИ, г. Москва

В 2015 году вышла новая версия стандарта ISO 9001, в которой уже нет требования к наличию шести обязательных документированных процедур, одной из которых была «Внутренние аудиты». В тоже время эффективность разработанной системы менеджмента качества (СМК) напрямую зависит от документированности этой системы, которая имеет свою систематическую и последовательную структуру. Благодаря документированию система качества принимает официальный статус. Структура документации системы менеджмента качества – иерархическая система, в которой все документы взаимосвязаны. Она выстроена по подобию стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Структура системы качества состоит из «постоянной» составляющей, которая определена стандартом, и «переменной» составляющей, которая зависит от конкретной организации. «Постоянная» составляющая структуры документации СМК включает в себя: политику в области качества; цели в области качества; руководство по качеству; записи по качеству.

«Переменная» составляющая структуры в стандарте описана так: «Документы, необходимые организации для обеспечения эффективного планирования, осуществления процессов и управления ими». К данным документам можно отнести планы, карты или структуры процессов, должностные инструкции, формы отчетности, договоры, нормативные документы, накладные, приказы, соглашения и пр. Т.е. можно сказать, что «переменная» составляющая включает в себя большую часть документов предприятия. Документированная процедура – это документ, который устанавливает единый для всего предприятия порядок оформления процессов, полномочий и ответственности должностных лиц, информационных потоков, а также порядок регистрации данных и записей по качеству. Другими словами, документированная процедура – это документ, который устанавливает, что, где, когда, кем, с помощью чего и как что-то должно делаться, в особенности, должна осуществляться какая-либо деятельность или процесс.

Высшая форма контроля всей структуры организации – внутренние аудиты (проверки). Они необходимы для того, чтобы понять, соответствуют ли деятельность и результаты в области качества проводимым мероприятиям и требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015, а также требованиям, которые разработало само предприятие. Конечный итог внутренних проверок является основой входных данных для анализа со стороны руководства и дает возможность предприятию декларировать соответствие своей СМК требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Поэтому такие вопросы, как: грамотное планирование, организация и проведение проверок, а также анализ их результативности – требуют незамедлительного решения. Внутренний аудит – это регламентированная внутренними документами организации деятельность по проверки звеньев управления и аспектов функционирования организации, осуществляемая квалифицированными представителями специального компетентного органа в целях помощи органам управления организации. Целью аудита качества является оценка адекватности и эффективности проводимых проверок по качеству внутри предприятия и выявление (регистрация) примеров несоответствий мероприятий по качеству и исследование, а также обозначение причин таких несоответствий.

Корректирующие действия играют очень важную роль. И пока они не будут выполнены, и не появятся первые результаты после их внедрения, аудит будет представлять собой всего лишь пустую трату времени, ресурсов и денег.

Каждому руководителю давно пора понять, что борьба за качество – это непрерывный процесс, а постоянное улучшение не просто требование стандарта, а самый важный критерий стратегии каждого предприятия. Чем выше качество производимой продукции, тем больше шансов одержать победу в конкурентной борьбе.

## **Роль качественного отбора персонала в управлении предприятием**

Ванчурин М.Д.

Научный руководитель – Борисова Е.В.

МАИ, г. Москва

Правильный отбор персонала является залогом качественной работы предприятия в целом, а также его системы менеджмента качества в частности. Насколько эффективно мы поставим работу по отбору кадров, настолько мы будем уверены в корректном функционировании нашей организации, ее совершенствовании, улучшении производства и качества выпускаемой продукции или услуг.

Отбором персонала является процесс выявления сотрудников, которые наиболее подходят из большого количества соискателей, нацеленных на ту или иную должность.

К основным целям и задачам отбора персонала относятся: планирование подбора персонала; подбор и отбор персонала; определения зарплат и льгот; профессиональная адаптация сотрудников; обучение персонала; аттестация кадров; перестановка кадров.

Как правило, процесс отбора персонала осуществляется в таких формах как: набор, отбор и наем. Но также не стоит забывать о том, что когда мы организуем процесс подбора персонала, нужно учитывать влияние комплекса правил: местоположения предприятия, его специфику, возможности, ограничения со стороны законодательной структуры и многое другое. Однако, к сожалению, бывают такие случаи, когда данные своды правил и требований нарушаются, что порой может привести к нарушению прав как и самих работников организации, так и государственной законодательной базы.

При проведении данной процедуры по отбору кадров нужно: сформировать организацию работы по поиску кандидатов на вакантные рабочие места. Она может производиться как внутри самой компании, так и внешне. Так же необходимо создать технологию отбора кандидатов. Немаловажную роль играет система оценки кандидатов, в которую входят не только формирования принадлежности кандидата на данную должность, но и создания его мотивации, чтобы заполучить данную должность. Иными словами: в результатах данного этапа должны быть заинтересованы обе стороны, как и организация, так и кандидат на должность.

Но после того, как мы отобрали тех или иных кандидатов на ту или иную должность, нам надо ввести систему аттестации персонала. Бывает очень часто так, что многие организации, после удачного отбора кадров, забывают о их последующем развитии. Ведь много кому известно, что совершенствование как работников, так и, к примеру, производства, подобно эскалаторам: если ты остановишься, то окажешься на ступень ниже от твоих конкурентов, которые же будут подниматься все выше и выше, пока ты стоишь на месте. Именно для этого и нужна аттестация персонала, чтобы знать слабые места своих работников. После ее проведения мы можем быть уверены, кто является «якорем» тянущим всю команду назад, чтобы в дальнейшем отправить его, к примеру, на переобучение или же заменить другим более квалифицированным специалистом.

На сегодняшний день экономическая система повышает значимость управления издержками организации. Одним из основных инструментов данного управления является эффективный отбор кадров, усовершенствование которого может способствовать снижению затрат на персонал. Ведь далеко не секрет, что ошибки, допущенные при отборе, могут сыграть плохую роль в функционировании организации и ее дальнейшем совершенствовании

В заключение можно подвести итог, что отбор кадров, его качество, эффективность и обоснованность на сегодняшний день является ключевым залогом стабильной работы предприятия, экономического развития, показателя стабильности, формирующих один из ключей, создающий положительный имидж и процветание компании.

## **Сравнительный анализ методов улучшения интегрированной системы менеджмента в сфере информационных технологий**

Вельмакина Ю.В.

Научный руководитель – Васильев В.А.

МАИ, г. Москва

В настоящее время отечественные компании все активнее внедряют интегрированные системы менеджмента. Изначально внедрив одну из систем, как правило, систему менеджмента качества, организации на ее основе внедряют отраслевые системы, позволяющие им конкурировать на рынке. Любая интегрированная система менеджмента со временем претерпевает изменения, что влечет за собой требования к управлению улучшениями.

В соответствии со стандартом ГОСТ ISO 9000-2011 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь» постоянное улучшение (continual improvement) – это повторяющаяся деятельность по увеличению способности выполнить требования.

Рассматривая интегрированную систему менеджмента в сфере информационных технологий включающую в себя систему менеджмента IT-сервисов, систему менеджмента качества и систему менеджмента информационной безопасности, можно отметить что соответствующие международные стандарты включают в себя схожие требования к управлению улучшениями каждой из обозначенных систем, а, следовательно, и к управлению улучшениями интегрированной системы в целом.

В настоящее время существует значительное количество инструментов и методов, применяемых для развития и совершенствования различных систем менеджмента, например, концепция бережливого производства, сбалансированная система показателей, шесть сигм, 20 ключей к совершенствованию бизнеса, самооценка и др.

С целью выявления методов улучшения интегрированной системы менеджмента, подходящих для применения в сфере информационных технологий, был проведен информационно – аналитический обзор уже существующих методов и инструментов улучшения.

Выбор того или иного варианта улучшения интегрированной системы менеджмента в сфере информационных технологий организация осуществляет самостоятельно, исходя из ее состояния, уровня результативности и

эффективности функционирования, а также наличия необходимых ресурсов. При этом на первых этапах функционирования интегрированной системы менеджмента организации, как правило, используются типовые варианты и стандартизированные модели ее развития и улучшения. Однако успешно развивающиеся компании, накопивший определенный опыт довольно часто «вырастают» и ощущают необходимость изменения существующих подходов к управлению улучшениями.

В результате проделанной работы были выбраны методы, подходящие для управления улучшениями интегрированной системы менеджмента в сфере информационных технологий, выявлены преимущества и недостатки методов улучшения, даны рекомендации по дальнейшей разработке метода улучшения интегрированной системы менеджмента в сфере информационных технологий.

### **Управление качеством процесса производства TFT ЖК-панелей**

Гаврилково С.А., Ахрамович А.А., Якимочева Е.Д.

Научный руководитель – Борисова Е.В.

МАИ, г. Москва

Производство TFT ЖК-панелей, несмотря на некоторое падение объемов выпуска в некоторых секторах, продолжает расти. В частности, данный рост идет бок о бок с философией управления качеством, которая непосредственно влияет на аспекты, обеспечивающие лидерство на рынке. Для минимизации расходов и освоения необъятного китайского рынка многие японские, корейские и тайваньские компании разворачивают новые, либо переносят старые производственные мощности в Китай. В ходе нависшего мирового экономического кризиса производители все чаще обращаются к ведущим консалтинговым фирмам в области управления качеством. Также стоит отметить смену ориентиров японских компаний – наблюдается перемещение оборудования японских фабрик последнего поколения в Китай.

В производстве TFT ЖК-панелей для минимизации затрат используется групповой процесс с использованием материнских стеклянных подложек. В зависимости от размеров панелей используются соответствующего размера материнские подложки. Размер подложки играет ключевую роль для повышения эффективности производства, минимизации затрат и, как следствие, снижения цены.

Впервые групповой процесс с использованием материнских стеклянных подложек был применен для производства ЖК-индикаторов калькуляторов и ручных часов еще в начале 80-х годов прошлого века в Японии. Использование группового процесса позволило снизить себестоимость ЖК-индикатора. Позже данная технология стала применяться повсеместно для различных вариантов оборудования. Размер стеклянных подложек не был стандартизирован и варьировался производителем. Размер определяется исключительно эффективностью раскроя материнской подложки под размеры доминирующей продукции фабрики.

Технический прогресс не стоял на месте. Первоначально в производстве TFT ЖК-панелей в большинстве своем были задействованы люди, что вело к потерям, связанным с человеческим фактором. На сегодняшний день

крупнейшие производители TFT ЖК-панелей практически полностью автоматизируют свое производство. Появляются полноценные производственные роботизированные линии, в которых человек выступает оператором. Остается также этап выходного контроля готовой продукции, где непосредственно рабочий подключает готовое изделие к испытательному стенду.

За столь продолжительное время технология изготовления панелей претерпела множество изменений, связанных с необходимостью поднятия рентабельности данного бизнеса. Были затронуты определенные узкие места, такие как: налив ЖК-материала, печать RGB-фильтров, напыление спейсеров. В данных конкретных участках и происходило большинство сбоев, как показал статистический анализ. Поэтому первоначально был сделан упор на модернизацию участков ответственных за данные операции и в результате были внедрены методики перевернувшие представление о серийном производстве TFT ЖК-панелей, к примеру, была разработана ныне повсеместно используемая методика заполнения ячеек ЖК-материалов под названием OneDropFilling позволившая увеличить скорость данной операции в сотни раз.

Данная область является одной из самых высокотехнологичных и востребованных в современном мире. Каждый день находятся все новые решения, которые позволяют создавать все более совершенный продукт. Так или иначе, каждое уважающее себя предприятие в данной отрасли заинтересованно в стабильном качестве своей продукции, чтобы оставаться на плаву в нынешних рыночных условиях, поэтому любые научные решения в данной области бесспорно идут рука об руку с таким важным аспектом сегодняшней действительности, как необходимость управлять качеством.

## **Инструмент реализации принципа менеджмента качества «Постоянное улучшение»**

Дулькина Я.А.

Научный руководитель – Борисова Е.В.  
МАИ, г. Москва

Один из принципов менеджмента качества заключается в постоянном улучшении организации. Поэтому, если производитель хочет выпускать качественную продукцию и быть конкурентоспособным, ему необходимо правильно выбрать стратегию развития. Одна из которых - инновационная концепция.

Инновационная концепция предполагает, что развитие – это результат реализации отдельных точек проектов, а не комплексной стратегии развития. И этот подход во многом более близок к действительности, к тому, что происходит в реальности.

Исследования частных стоматологических клиник Москвы выявило, что большинство руководителей организации совершенно не имеют четко выраженной стратегии, поставленных целей, определенных способов достижения этих целей. Так как же развиваются эти организации? Ведь происходит введение новых форм деятельности, происходит создание новых продуктов или услуг, усложнение структур управления, введение

дополнительных функций. Как же происходит развитие в этих организациях, если в них нет ничего, что напоминало бы комплексную стратегию. Эти организации развиваются через проекты. У менеджмента появляются вынужденные или самостоятельные идеи по развитию, которые не претендуют на комплексность. Это отдельный проект, например, создать отдел рекламы или купить и запустить новую установку.

Сталкиваясь с российским бизнесом, особенно с организациями, которыми по-прежнему управляют их основатели или собственники, видно, что главным механизмом развития этих организаций является инновационный подход, реализация отдельно взятых точечных проектов, а вовсе не создание комплексной системы развития этих организаций.

Основной вопрос, который ставится в инновационном подходе: как реализовать задуманные изменения и как заставить их работать?

Теперь перейдем непосредственно к самому процессу изменений. Любые изменения начинаются с потребности или проблемы. В ответ на это должна возникнуть идея (т.е. какими способами мы можем удовлетворить наши потребности и решить проблемы). Следующий этап в процессе изменений – это принятие этих изменений. Изменение – это всегда выход из зоны комфорта. Когда мы внедряем что-то новое в организации, наши сотрудники должны привыкнуть к ним. Очень важный аспект процесса изменений – необходимые ресурсы. Иногда проекту нужны человеческие ресурсы, иногда материальные. Залог успеха любого проекта – понять, какие ресурсы будут ключевыми, в каком количестве и когда эти ресурсы потребуются. Нужно обеспечить наличие этих ресурсов, потому что отсутствие ключевого ресурса может сорвать реализацию любого проекта изменений. И последний этап – это осуществление изменений. Самое важное на этом этапе разработать планы этих изменений и дисциплинированно следовать этим планам, преодолеть сопротивление.

Но и здесь есть минусы. Главное понимать, есть ли реальная потребность в этих переменах. Если потребность имеется, нужно найти идею, которая будет соответствовать потребности. А так же, частая проблема – непонимание высшего руководства. В этом случае, все изменения застопорятся, потому что руководитель не хочет ничего менять.

Впрочем, организация должна сама решать, будет ли это комплексная стратегия развития компании или инновационная концепция. Главное, чтобы это было грамотно распланировано, внедрено и со временем давало свои плоды.

## **Управление качеством инновационных процессов**

Жамсуева Г.С.

Научный руководитель – Васильев В.А.

МАИ, г. Москва

Качество и инновации являются важными элементами в вопросах бизнеса в любой отрасли. Однако не все специалисты в области качества следуют тенденциям инновационных изменений, и ни все эксперты в области инноваций знакомы с процедурами контроля качества. Тем не менее, существует множество перекрестных связей между этими дисциплинами. Необходимо

рассмотреть вопросы качества в области инноваций и инноваций в области качества, а также реализация их в организации и обществе.

Качество и инновации – две самостоятельные специализированные дисциплины, каждая из которых имеет свою историю, научные и педагогические основы, открытия, методики и, конечно же, квалифицированных специалистов. Мы признали значительные перекрестные связи между этими дисциплинами совсем недавно.

На сегодняшний день существует кризис менеджмента качества в целом из-за отсутствия инноваций в принципах менеджмента качества, инструментах и инфраструктуре с учетом изменения в организации бизнес-среды. Таким образом, специалисты в области качества, не в состоянии адаптироваться к общему развитию деловой деятельности организации и тенденции развития общества в целом.

Международные стандарты, реализуемые в организациях, имеют большое влияние на качество. Нет никаких ограничений на использование инноваций также в традиционных сферах управления качеством, например, использования и внедрения стандартов ИСО серии 9000 в творческом пути и стремиться к совершенству в эффективности бизнеса. Это зависит только от организаций, бизнес - лидеров, экспертов и их воли и способности отличаться от других.

Ключевой вопрос заключается в том, что стандарты серии ИСО 9000 предлагают возможности, которые не ограничены, а не конкретные цели.

Инновационные возможности могут быть найдены в эффективных методах и инструментах, исполнении, подсистемах управления, бизнес – системах и т.д

Использование международной признанной методологии в условиях рыночной экономики просто необходимо для повышения эффективности бизнеса, а также для отличия от других организаций, применении современных технических средств, например, использование передовых ИТ – технологий и новейших методологий, инновационное управление инфраструктурой для реализации качественного подхода, мобилизация всей организации.

Эксперты в области инноваций в основном не контактируют с квалифицированными специалистами по управлению качеством. Инновационный взгляд на деятельность, как правило, рассматривается как проблема системы, хотя на практике инновации создаются творческими людьми в количестве 6-8 человек и часто в сети. Сегодня также качество произошло от деятельности сети организаций и частных лиц.

Отражая развитие качества и инновационной деятельности в целом можно сделать вывод, что они продолжают развиваться в основном в качестве самостоятельных дисциплин, и их отношения, как правило, не ясны между собой. Однако, взаимодействие между ними является важным и полезным в организации и среди соответствующих специалистов моментом. Обе эти дисциплины должны быть эффективной интеграцией бизнес-систем и процессов. Аналогичны и ситуации между инновациями и многими другими дисциплинами, например, экологическим менеджментом, менеджментом информационной безопасности, менеджментом профессиональной безопасности и здоровья, и др.

## Управление рисками в системе менеджмента качества

Калачев Н.А.

Научный руководитель – Одинокоев С.А.

МАИ, г. Москва

Что же такое риск? Это неотъемлемая часть нашей жизни, без которой невозможно представить наше существование. Риска не надо бояться. Его надо принимать и оперировать, решая как поступить.

В любой системе присутствует свой риск, который надо снижать до приемлемого уровня. Таким исключением не стала и система менеджмента качества (далее СМК).

Рассуждая о вопросах управления рисками в организации, необходимо отметить, что фактор риска непосредственным образом связан с СМК организации. Если СМК функционирует эффективно в организации, факторы риска в меньшей степени оказывают влияние на ее деятельность. Если же факторы риска в значительной степени влияют на деятельность организации и приводят к снижению конкурентоспособности и прибыльности организации, необходима серьезная корректировка нынешней СМК в организации. Поэтому, наиболее интересным является исследование проблемы управления рисками в СМК организации. Но на сегодняшний день данный вопрос недостаточно раскрыт.

Важным аспектом эффективного механизма управления рисками в СМК организации должно стать распространение механизма управления рисками на все существующие подсистемы СМК организации. Это обусловлено тем, что на данный момент существует тенденция выделения в качестве объекта риск-менеджмента СМК исключительно качества продукции. Безусловно, качество продукции является одним из важнейших объектов исследования управления рисками СМК, но также необходимо учитывать: качество процессов в организации, качество персонала, качество планирования, а также другие немаловажные аспекты СМК также подвержены влиянию факторов риска и нуждаются в постоянном совершенствовании. Управление качеством не ограничено узкой спецификацией деятельности. Оно направлено на управление всем предприятием, всеми аспектами его жизнедеятельности. А также четкой ориентацией на запросы не только потребителей, но и других заинтересованных сторон.

В новом стандарте ISO 9001-2015 одно из ключевых целей СМК – действовать как инструмент предупреждения. Поэтому настоящий Международный Стандарт не содержит отдельного раздела или подраздела, озаглавленного «Предупреждающие действия» Концепция предупреждающих действий реализована через подход к формулированию требований СМК, основанный на оценке рисков.

Такой подход способствовал некоторому снижению числа директивных требований и замены их требованиями, основанными на показателях.

Управление рисками в СМК организации в настоящее время является наиболее важной задачей. Руководители любой организации, независимо от профессии, должны иметь дело с ним на ежедневной основе. Риск может и должен контролироваться, то есть использовать различные меры, чтобы

предсказать события риска и применять методы для уменьшения последствий риска.

Наиболее эффективным способом является снижение степени влияния риска на функционирование и развитие СМК. Они могут осуществляться по нескольким методикам:

- диверсификация;
- приобретение дополнительной информации о выборе и результатах;
- лимитирование.

С расширением зоны рискованных ситуаций, что характерно для рыночной экономики, особенно в условиях нестабильности и ориентира на качество, технологии управления рисками становятся объективно необходимыми и весьма значимыми элементами управления, важной предпосылкой делового успеха организации.

### **Система общего производительного обслуживания оборудования**

Коршунова Е.А.

Научный руководитель – Борисова Е.В.

МАИ, г. Москва

Система общего производительного обслуживания оборудования (TotalProductiveMaintenance - ТРМ) является одним из инструментов Бережливого производства, идея которого заключается в вовлечении в процесс обслуживания оборудования всего персонала, а не только соответствующих служб, которые должны заниматься решением проблем, возникающих во время эксплуатации оборудования.

Данная система обслуживания оборудования была разработана сравнительно недавно, на рубеже 60-70-х годов, в фирме «Ниппон Дэнсо», занимающейся поставками электрооборудования для компании «Тойота». Изначально ТРМ использовалась, как методика повышения эффективности оборудования.

Основные цели ТРМ:

- Стремление к высоким показателям эффективности работы оборудования;
- Развертывание системы во всех производственных подразделениях;
- В развертывании системы задействован весь штат сотрудников (от рядовых сотрудников до высшего руководства);
- Работа в малых группах.

Обобщая все выше сказанное, можно сделать вывод, что наиболее важными характеристиками системы ТРМ являются:

- Вовлечение всего персонала в деятельность;
- Увеличение прибыли;
- Снижение затрат;
- Сокращение потерь;
- Увеличение конкурентоспособности.

Для эффективного функционирования компании необходимо разработать план мероприятий по развертыванию деятельности, направленной на обеспечение безопасности. Чтобы этот план реализовался, необходима согласованность между всеми малыми группами ТРМ, где каждый сотрудник

должен знать, что он будет делать в рамках реализации политики компании по отношению к охране труда.

Я считаю, что во времена рыночной экономики, компании, использующие данную систему, смогут добиться больших результатов, которые поспособствуют более эффективному росту компании в сравнении с компаниями-конкурентами в пределах занимаемой ими ниши.

Так же следует отметить, что работа в малых группах порождает положительные результаты, так как каждый оператор самостоятельно отвечает за свое рабочее место, а именно это приводит к наиболее высоким показателям эффективности работы компании.

## **Статистические методы контроля качества при производстве.**

### **Диаграмма Парето**

Кудлова К.П., Соколова Е.С.

Научный руководитель – Одинокоев С.А.

МАИ, г. Москва

Статистические методы контроля качества на сегодняшний день занимают почетное место в производстве, в работе тысяч специалистов во всем мире. С помощью инструментов контроля качества мы выявляем несоответствия, управляем производственными процессами, оцениваем уровень отклонений, анализируем и обрабатываем данные. Не секрет, чтобы выпускать продукцию высокого технического уровня и качества, необходимо комплексно и эффективно управлять процессами формирования характеристик изделий. Следует отметить, что контроль является одной из важнейших функций, действующих на предприятии систем менеджмента качества. Методы контроля продукции, позволяющие при минимальных затратах достичь высокой стабильности показателей качества, и сегодня играют существенную роль. Значение контроля заключается в том, что он позволяет вовремя выявить ошибки, чтобы затем оперативно исправить их с минимальными потерями.

Разрабатывая и применяя новые методы и подходы для контроля и управления качеством, необходимо не только не забывать, но и более активно использовать уже известные инструменты, находить для них новые области применения. Диаграмма Парето является графическим отображением правила Парето. В менеджменте качества применение этого правила показывает, что значительное число несоответствий и дефектов возникает из-за ограниченного числа причин.

Диаграмма Парето – является одним из наиболее важных инструментов, позволяющий распределить усилия для разрешения возникающих проблем и выявить основные причины, с которых нужно начинать действовать. Метод анализа Парето заключается в классификации проблем качества на немногочисленные, но существенно важные и многочисленные, но несущественные.

Диаграмма Парето по результатам деятельности предназначена для выявления главной проблемы. Она отражает нежелательные результаты деятельности: дефекты, поломки, отказы, ремонты, возвраты продукции, объём потерь, затраты, нехватку запасов, ошибки в составлении счетов, срыв сроков

поставок и прочее. Следует более активно использовать данный инструмент для системы менеджмента качества, например, для более эффективного анализа стороны руководства.

Диаграмма Парето по причинам отражает причины проблем, возникающих в ходе производства. Она используется для выявления главной из них: исполнитель работы, оборудование, сырьё, метод работы, измерения. Использование инструмента для проведения внутреннего аудита позволит значительно повысить результативность и эффективность этого процесса

Построение диаграммы Парето начинается с классификации возникающих проблем по отдельным факторам (например, проблемы, относящиеся к браку, к работе оборудования или исполнителей и т.д.). Затем производят сбор и анализ по каждому фактору, чтобы выяснить, какие из этих факторов являются ключевыми при решении проблем. Диаграмма позволяет спланировать последующие действия, провести контроль результатов и снова получить дополнительную информацию для улучшения. В итоге, диаграмма Парето в сочетании со статистическими методами позволяет приблизиться к бездефектному изготовлению продукции.

## **Управление качеством процесса производства окон ПВХ**

Кузьменкова А.А.

Научный руководитель – Борисова Е.В.

МАИ, г. Москва

Управление качеством процесса пластиковых окон, как и любого другого производственного процесса, достигается путем своевременного получения достоверной информации о качестве выпускаемого продукта, о наличии несоответствий, а также принятия мер по их устранению.

Для повышения качества оконной продукции на предприятии следует:

Обеспечить соблюдение графиков проведения контроля продукции в несколько этапов:

- Входной контроль – проверка качества поставляемого сырья и комплектующих;
- Пооперационный контроль – проверка соответствия техническому регламенту;
- Контроль на этапе сборки окна – проверка наличия брака;
- Выходной контроль – подтверждение соответствия технологии производства оконной продукции.

Выполнение принципов Всеобщего управления качеством:

- Ориентация на потребителя. Поскольку производство окон, в основном, ориентированно на индивидуальные заказы, данный принцип является важнейшим.
- Вовлечение всех сотрудников. Успешное взаимодействие подразделений организации и их объединение для решения вопросов повышения качества продукции.
- Процессный подход. Вся деятельность предприятия рассматривается как единый процесс, состоящий из множества подпроцессов (нарезка профилей, сварка, зачистка углов, установка стеклопакета, фурнитуры и т.д.).

- Лидерство руководства. Прежде всего, руководители должны создавать комфортные условия для своих подчиненных и привлекать их в решение поставленных задач.

- Принятие решений на основе фактов. Достоверная информация способствует принятию объективного решения поставленных задач.

- Постоянное улучшение. Не стоит останавливаться на достигнутых результатах.

- Взаимовыгодные отношения с поставщиками. Компании по производству окон тесно сотрудничают с поставщиками ПВХ-профилей и комплектующих, следовательно, необходимо тщательно отобрать надежных поставщиков, продукция которых отвечает установленным требованиям.

Организовать непрерывное обучение сотрудников организации. Оконные технологии не стоят на месте, поэтому рабочие должны обладать необходимыми навыками и квалификацией.

Применение статистических методов контроля и управления качеством.

Применение современных методов контроля качества, например, Бережливое производство, 6 сигм, FMEA и многое другое.

Удовлетворенность потребителя напрямую зависит от качества продукта. Следовательно, одним из основных процессов организации должно быть повышение качества изготавливаемой продукции, которое достигается различными методами. Руководству компании необходимо поддерживать предложения сотрудников, не бояться нововведений.

### **Возможная интеграция стандартов**

Купырев А.В.

Научный руководитель – Борисова Е.В.

МАИ, г. Москва

Одно из серьезных нововведений, появившееся в стандарте ГОСТ Р ИСО 9001-2015 “Системы менеджмента качества. Требования”, пришедшего на смену стандарта 2011 года, являются риски. Риски – это те возможные проблемы, которые могут повлечь за собой большие финансовые потери, если их не увидеть на стадии разработки и описания процесса, и соответственно устранить или хотя бы просчитать возможные действия для снижения их вреда для предприятия.

Возникает вопрос почему данный критерий появился только в новой версии, если он уже существовал в схожем стандарте ГОСТ Р ИСО 14001-2007 “Системы экологического менеджмента. Требования и руководства по применению”. Также есть отдельный стандарт ГОСТ Р ИСО 31000-2010 “Менеджмент риска. Принципы и руководство”, который создавался с целью описания работы с рисками.

Тут сразу возникает мысль о том, что для того чтобы предприятие нормально функционировало, одного стандарта ей будет недостаточно. Также целесообразно вводить: ГОСТ Р ИСО 14001-2007 “Системы экологического менеджмента. Требования и руководства по применению” и OHSAS 18001:2007 “Системы менеджмента охраны здоровья и обеспечения безопасности труда”. Как писалось раньше, стандарт ГОСТ Р ИСО 9001 и стандарт ГОСТ Р ИСО

14001, очень похожи, нам будет легче внедрять новые стандарты. Когда мы будем внедрять СМК, будет продельваться колоссальная работа, охватывающая те подразделения для которых будет она разрабатываться. Будут разрабатываться и внедряться процедуры, описывающие ход работы, для того или иного типа работы. После того как мы разработали и внедрили СМК в соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО 9001-2015, мы имеем уже подготовленную базу, а также сотрудников с определенным наработанным опытом и знаниями. Как упоминалось раньше желательно ввести и другие стандарты, дабы охватить большее количество аспектов деятельности предприятия. Делается это для того, чтобы рабочие имели инструкции и понимали, что от них требуется. Если мы вводим дополнительно стандарт OHSAS 18001:2007, мы стараемся обезопасить работу рабочих, убирая или снижая вероятность производственного травматизма, поэтому когда мы будем вводить стандарт ГОСТ Р ИСО 14001, у нас уже будет 2 работающих стандарта на предприятии, и ввести новый мы сможем с меньшим количеством затрат на ресурсы, так как большая часть его требований была уже выполнена.

Положительная сторона заключается в быстром внедрении последующих стандартов на предприятии, но есть также и отрицательная сторона, заключающаяся в отдельном проведении сертификации для каждого введенного стандарта.

Соответственно, я считаю, что эксперты, которые пересматривают и обновляют стандарты, планируют по возможности объединить схожие стандарты:

- Для того что сократить количество стандартов, что упростит поиски информации и работу.
- Можно будет внедрять пару стандартов, которые охватывают большой список нужных нам элементов, а также это будет стоить дешевле, чем сейчас.

Так что, возможное объединение стандартов выглядит очень перспективно и было бы хорошей платформой для взаимодействия экспертов из разных областей знаний.

## **Управление качеством в учебном центре повышения квалификации**

Ломакина Е.А.

Научный руководитель – Одинокоев С.А.

МАИ, г. Москва

Повышение квалификации является взаимообусловленным процессом, оказывающим влияние как на качество кадрового потенциала компании, так и на результативность и эффективность труда. В связи с развитием и внедрением управления качеством в организациях появилось большое количество центров повышения квалификации, предлагаемые курсы данной направленности.

В рассматриваемом учебном центре внедрена и функционирует система менеджмента качества, которая включает в себя управление такими видами деятельности, как планирование качества, управление качеством, обеспечение качества, улучшение качества, а также методы и инструменты, необходимые для менеджмента качества.

Принципы менеджмента качества образуют основу для стандартов системы менеджмента качества серии ISO 9000. Использование принципов повышают эффективность деятельности организации, а также позволяют обеспечить должный уровень качества.

С целью результативного функционирования организация должна определить и управлять взаимосвязанными и взаимодействующими процессами. Для этого, соответственно, организация внедряет принцип процессного подхода, что приводит к повышению удовлетворенности заинтересованных сторон.

В учебном центре квалификации определены и описаны следующие процессы: анализ и оценка пожеланий потребителей, разработка программ семинаров, прием заявок, заключение договора, обучение, тестирование, выдача сертификата, оценка удовлетворенности клиентов. Ключевым процессом является процесс обучения, который требует большего внимания и контроля. В связи с этим для этого процесса применяются статистические методы.

Стоит отметить, что оценка качества процесса предоставления услуг является одной из самых сложных проблем.

На сегодняшний день разработано большое количество инструментов и методов менеджмента качества, позволяющих повышать качество процессов. Для измерения и анализа необходимо применение статистических методов, среди которых семь инструментов контроля качества. В учебном центре к процессу обучения применяются следующие методы: контрольная карта с целью определения стабильности процесса, диаграмма Парето с целью сосредоточения усилий и направления ресурсов на решение самых важных проблем. Применив контрольную карту для процесса обучения по результатам тестирования, было выявлено, что процесс находится в статистически устойчивом состоянии. Построив диаграмму Парето, получены данные по корректировке вопросов тестирования. Для анализа и предотвращения возможных ошибок учебного процесса был адаптирован и применен метод FMEA.

Кроме того, для процесса повышения квалификации необходимо проводить аудиты в соответствии с требованиями п.9.2 стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2015 с целью установления степени соответствия требованиям и оценки результативности. Аудиты системы менеджмента регламентируются стандартом ГОСТ Р ИСО 19011-2012. Внутренние аудиты являются одним из самых важных инструментов для оценивания функционирования системы управления качеством. В соответствии с новым стандартом ГОСТ Р ИСО 9001-2015 аудит более глубоко отражает один из принципов менеджмента качества - принятие решений, основанное на свидетельствах.

Повышение квалификации работниками организаций в учебном центре обеспечивает необходимый их уровень компетенции и положительно влияет на качество работы организаций.

## **Система процессов жизненного цикла детали технической системы**

Малова О.В.

Научный руководитель – Касьянов С.В.

Филиал К(П)ФУ, г. Набережные Челны

Для человечества все более важным становится создать не просто качественную продукцию, удовлетворяющую наши потребности, но и сделать это с минимальным воздействием на окружающую природную среду. Это воздействие проявляется при добыче сырья для изготовления материалов, в ходе изготовления детали, при использовании изделия, а также при утилизации в конце полезного срока службы. Поэтому современные системы менеджмента требуют поставить под управление полный жизненный цикл (ЖЦ) изготовленного продукта. Однако, каких-либо подсказок по систематизации процессов ЖЦ стандарты не дают.

На сегодняшний день существует множество отраслевых технологий, в которых достаточно глубоко упорядочены отдельные группы процессов, но целой картины ЖЦ выстроить по ним невозможно. Назрела необходимость системно описать все его процессы, не допуская их дублирования, каких-либо упущений и ошибок.

Структура ЖЦ может быть только иерархической. В данной работе она представлена на примере типовой детали «зубчатое колесо», изготавливаемой в машиностроительном производстве.

В ЖЦ детали выделены этапы: извлечение из природной среды исходного сырья – получение компонента материала – изготовление материала – изготовление детали – включение детали в состав агрегата (сборка) – включение агрегата в состав изделия – использование детали по назначению в составе изделия – возврат материала изношенной детали в природную среду, или повторное ее использование.

На каждом этапе составлена последовательность технологических маршрутов. Так, этап изготовления детали в настоящее время состоит из следующих типовых маршрутов: резка проката на заготовки; горячая объемная штамповка; отжиг полученной поковки; предварительное формообразование на металлорежущих станках; химико-термическая обработка, финишное формообразование на станках.

Маршруты представляют собой последовательность операций – производственных, транспортных, контрольных, а при необходимости – еще и операций межоперационного хранения.

Для прослеживания факторов, влияющих на качество детали, предложена иерархическая структура операций. Например, для формообразования выделены вспомогательные и управленческие действия на уровнях установов, обработки в станочных позициях; технологических переходов. Следующим уровнем иерархии являются рабочие ходы (разовые движения инструментов при обработке). Они могут быть также далее проструктурированы по изложенной схеме.

Таким образом, становится возможным по единым образом описать содержание любого, даже самого мелкого процесса ЖЦавтокомпонента, и

проследить необходимую для управления информацию в ходе выполнения проекта подготовки его производства, изготовления и поставок.

В дальнейшем, схему дифференциации процессов по строго определенным иерархическим уровням можно будет использовать для формализации ЖЦ услуг, информации, а также попутных продуктов производства (отходов, выбросов, загрязнений).

### **Сравнительный анализ сертификационных требований к гражданским воздушным судам отечественных и зарубежных авиационных властей**

Марасанов Л.О.

Научный руководитель – Опришко Н.В.

МАИ, г. Москва

В работе проводится сравнительный анализ сертификационных требований к гражданским воздушным судам (ВС) отечественных и зарубежных авиационных властей.

Требования авиационных властей различных государств имеют отличия.

Для возможности осуществлять эксплуатацию ВС на территории какого-то государства необходимо соответствовать требованиям авиационных властей этого государства.

Для этих целей проводится процедура установки соответствия требованиям – сертификация. По результатам данной процедуры разработчику выдаётся сертификат, который подтверждает данное соответствие.

Предполагается выбрать потенциальные сферы применения и рынки сбыта вновь разрабатываемого ВС и сравнить требования авиационных властей. Это позволит составить план сертификации, придерживаясь которого компания-разработчик ВС может оптимизировать временные и денежные затраты на сертификацию ВС.

В качестве основных требований рассматриваются требования российских авиационных властей. В качестве оцениваемых, в первую очередь выбраны требования авиационных властей стран БРИКС – Бразилия, Индия, Китай. Также рассматриваются страны Южной Америки (Венесуэла, Аргентина) и Азии (Индонезия, Таиланд).

В ходе сравнения выявлены общие требования и составлен список стран с близкими сертификационными требованиями к гражданским ВС.

Полученная информация может быть использована при планировании стратегии продвижения продукции отечественных разработчиков на мировой рынок.

### **Сертификация часов**

Марин Н.И.

Научный руководитель – Борисова Е.В.

МАИ, г. Москва

Часы остаются неотъемлемым аксессуаром для многих людей даже в эпоху смартфонов. Они могут сказать о многом: вкусах, статусе, роде деятельности

или стиле жизни. Однако, мало кто осведомлен о таком понятии как сертификация часов. В нашей стране сертификация часов в системе ГОСТ Р предполагает обязательное подтверждение соответствия требованиям к радиационной безопасности, гигиеническим требованиям и многим другим требованиям, связанным с безопасностью потребителя. Причем по завершению процесса сертификации заказчику вручается либо декларация соответствия на часы, либо сертификат. Это зависит от вида часов, которые проходят сертификацию. Например, декларация соответствия обязательна для следующих видов часов:

- наручные часы;
- карманные часы;
- настенные часы;
- часы, которые были изготовлены из драгоценных металлов.

Как вы можете заметить, речь идет лишь о требованиях к безопасности, а не о точности хода или надежности. Поэтому хотелось бы вспомнить о зарубежных сертификатах качества для часов, которые выдаются независимыми организациями и лабораториями. Начать следует с самого распространенного из всех – COSC.

COSC (Controle Officiel Suisse des Chronometres) – это сертификат, который выдает Швейцарский институт хронометрии. Этот сертификат подтверждает, что суточная погрешность часового механизма находится в пределах от -4 до +6 секунд. Да, именно «механизма», так как швейцарцы испытывают внутренний механизм, а не готовые часы. Сама сертификация проходит в течение 14 дней, после которых (при успешном прохождении, конечно) часы признаются хронометром и получают сертификат.

Так же стоит упомянуть, что COST ежегодно публикует статистику, в которой показано у каких компаний-производителей наибольшее количество сертифицированных хронометров.

Следующий сертификат качества - Fleurier Quality Foundation. Данный знак качества был учрежден силами Chopard, Bovet, Parmigiani Fleurier и мануфактуры Vaucher в 2001 году. Для того чтобы часы могли получить данный сертификат необходимо несколько условий: часы уже должны быть сертифицированы по COSC и произведены в Швейцарии. Система Fleuritest имитирует движения человеческого запястья с часами и одновременно проверяет точность хода. Отклонение не должно составлять больше чем 5 секунд за сутки. Так же проверяется надежность механизма с помощью специального теста Chronofiable. Помимо этого часы проходят визуальный контроль под микроскопом.

Направление деятельности стран запада и России в плане сертификации часов разительно отличаются друг от друга, и потому сравнивать эти решения не имеет смысла. В России делается упор на нижнюю планку качества продукции, а в уже упомянутой Швейцарии – повышают максимальный уровень качества.

## **Учёт требований эргономики в системе управления качеством**

Меденкова О.С., Соловьева Я.Ю.

Научный руководитель – Нестерович Т.Б.

МАИ, г. Москва

Система управления качеством создания наукоемких систем, комплексов и изделий, особенно в авиакосмической отрасли, играет важную роль в обеспечении профессиональной надежности специалистов, осуществляющих их эксплуатацию, и тем самым повышающих конкурентоспособность образцов авиационной и космической техники на мировом рынке услуг. Составной частью работ в системе управления качеством является учет требований эргономики, обеспечивающих удобство, эффективность и безопасность работы летного состава и космонавтов и надежность эксплуатации ими авиакосмических систем, комплексов и изделий. При этом требования эргономики не ограничиваются созданием комфортных условий и эстетических свойств и характеристик. Отечественная методология эргономических исследований не сводится и к функциональному дизайну изделий и разрабатываемых образцов техники. Эргономическое сопровождение и эргономическая экспертиза характеристик и свойств авиакосмических наукоемких систем, комплексов и изделий ориентированы на обеспечение психофизиологической надежности профессиональной деятельности летного состава и космонавтов, повышение уровня подготовки и оценку их готовности к работе в экстремальных ситуациях и при воздействии различных факторов. Таким образом, экспертиза качества авиакосмической техники предполагает оценку не только учета требований эргономики, содержащихся в техническом задании на разработку образца техники или в государственных и отраслевых стандартах, но и обеспечение психофизиологической надежности летного состава, авиационных специалистов или космонавтов в процессе профессиональной деятельности. Для этого необходимы методы, способы и технологии эргономической оценки и экспертизы средств, организации и условий профессиональной деятельности тех, кто занимается эксплуатацией авиакосмической техники, и модели прогноза влияния выявленных эргономических недостатков на ее эффективность. С этой целью могут использоваться как априорные расчетные методы качественной и количественной оценки деятельности, так и методы моделирования и проведения лабораторных и натурных исследований на этапах испытаний. При этом в процессе исследований должны использоваться методы математического планирования экспериментального исследования, обеспечивающие получение статистически достоверных результатов, а также соблюдаться требования по обеспечению добровольного участия исследователей и испытателей в таких экспериментах. Наиболее сложным и ответственным является этап обобщения и анализа результатов эргономической экспертизы, оценки влияния выявленных недостатков на психофизиологическую надежность профессиональной деятельности и обоснования рекомендаций и предложений по их устранению или принятию дополнительных мер по предупреждению их негативного влияния. В частности, имеется в виду необходимость указания в инструкциях конструкторских или аппаратно-программных особенностей, способных

повлиять на ситуационную осведомленность летчика или космонавта на процесс информационной подготовки и принятия решений или выполнения управляющих действий. Кроме того, может быть рекомендована специальная тренировка и периодическая оценка навыков переучивания или работы в условиях неоднозначности информации из-за эргономических недостатков ее отображения или поступления. При этом следует учитывать, что наличие эргономических недостатков может повлиять на оценку срока гарантии использования аппаратуры, комплексов и изделий.

### **Методы улучшения коммуникаций между работниками в организациях, внедряющих систему менеджмента качества**

Мельник А.А.

Научный руководитель – Борисова Е.В.

МАИ, г. Москва

Средств, методов и инструментов управления качеством большое количество, но каждый из них применяется на разных этапах создания, развития и постоянного улучшения систем менеджмента качества (СМК). Как правило, в рамках СМК основные акценты делаются на ориентации на потребителя, на его удовлетворенности, порядке, чистоте, организованности, квалифицированности персонала, мотивации персонала к работе. При этом мало берется во внимание человеческий фактор, а ведь именно из-за человека могут произойти непредвиденные ошибки вследствие невнимательности, усталости, непонимания задачи, стоящей перед ним, невозможность работы в команде, замкнутости. Если в компании отсутствует взаимосвязь между людьми, организация не может быть единым целым, не может быть системой, которая должна работать слаженно и размеренно. Только при наличии целостности компании ее функции будут выполнены максимально эффективно.

Для решения вопроса взаимоотношений между людьми в организации можно предложить 6 простых правил к улучшению коммуникаций:

- Быть уступчивым. Когда вы в знак согласия киваете головой, другой чувствует себя более значительным и уважаемым человеком, чувствует, что должен сказать что-то важное. Уступчивое поведение поднимает в других самоуважение. Если вы становитесь уступчивым человеком, с которым легко ладить, вы вызываете у других меньшее сопротивление помочь вам или ладить с вами
- Прекратите спорить, ведь тех, кто любит спорить, люди преднамеренно обходят стороной. Человек, убежденный против своей воли, остается при своем мнении. Это подобно тому, как лечить человека против его воли - неблагодарное дело, часто приводящее только к ухудшению здоровья.
- Излучайте радость. Требуется 13 мускулов для того, чтобы улыбнуться, и 112 мускулов, чтобы нахмурить брови. Когда вы улыбаетесь, то другой человек испытывает по отношению к себе лучшие чувства.
- Выражайте признательность. Чем больше вы благодарите других, тем более позитивно они будут себя чувствовать и будут стремиться делать все больше, чтобы получить большую благодарность

- Хвалите. Выражение похвалы должно быть немедленным. Когда вы хвалите людей намного позже того, как произошло событие, это оказывает очень слабое действие на них самих и на их будущую деятельность. Хвалите необходимо конкретно. Если хвалить за конкретное действие или поведение, это обеспечит то, что это конкретное действие или поведение становится повторяемым. Стремитесь хвалить публично. Чем больше людей присутствует при этом, тем выше это поднимает самооценку и самоуважение человека. Есть одно золотое правило – хвалите при всех, ругайте лично!

- Необходимо контролировать свои эмоции и корректно высказывать свои комментарии своим коллегам. Любая искренняя эмоция рано или поздно бумерангом вернется к вам.

Итак, при внедрении в организации СМК, необходимо заняться установлением и постоянным улучшением коммуникаций между сотрудниками, создавать совместные тренинги для налаживания взаимоотношений внутри коллектива, проводить командообразующие мероприятия, объяснять, что дружный коллектив принесет больше пользы как для организации, так и для них самих, к примеру, в виде увеличения заработной платы и комфортной атмосферы для работы и взаимодействия друг с другом.

## **Внедрение программы бережливого производства на российском предприятии ОПК**

Павлов А.С., Бобров М.А.

Научный руководитель – Васильев В.А.

МАИ, г. Москва

Сегодня в российской оборонной промышленности не все так гладко, как кажется на самом деле. Нынешние некоторые российские предприятия частично отстают от зарубежных в качестве выпускаемой продукции. Это обусловлено рядом причин:

- Отставание в производственных технологиях;
- Невысокий уровень управления на предприятиях;
- Низкая производительность.

Как показывает история, многие западные компании (LockheedMartin, Boeing, BAESystems), благодаря организационной и производственной деятельности, смогли подняться на новый уровень качества и производительности. В 90-е годы компания LockheedMartin, специализирующаяся на авиации и на ракетостроении, использовала программу LeanAerospaceInitiative (“Программа экономного авиакосмического производства”), которую разработал Массачусетский технологический институт. Цель данной программы – разработка и распространения концепции “Экономного предприятия” в авиакосмической отрасли. Компания, в ходе реализации данной программы, добилась успехов: сбережение авиационного сектора корпорации в период 1999-2000 гг. составили 700 миллионов долларов. “Локхид Мартин” достигла больших результатов в области производительности, используя данную программу, показывая большие повышения эффективности производственных процессов в течение нескольких лет. В результате LockheedMartin завоевала рынок, и заняла лидирующее 1

место среди крупнейших мировых оборонных компаний, вплоть до сегодняшнего дня.

На мой взгляд, внедрение такой программы на российские предприятия оборонной промышленности, могло бы отчасти решить некоторые проблемы этой отрасли. Данная программа позволит:

- Повысить производительность;
- Сэкономить бюджет;
- Нарастить объемы выпускаемой продукции;
- Снижение дефектности.

Тем самым, внедрение программы бережливого производства в ОПК (Оборонно-промышленный комплекс), поможет российским оборонным предприятиям выпускать качественную продукцию, создавая конкуренцию другим предприятиям. А так же заняв лидирующее место среди крупных оборонных концернов мира. Сейчас (2016 г.) ведется внедрение основ бережливого производства на предприятие концерна ПВО «Алмаз-Антей». Мы думаем эта программа, несомненно, принесет экономический эффект этой компании.

### **Необходимость разработки методологических принципов управления знаниями для интеллектуальных систем**

Панина М.А.

Научный руководитель – Горелов Л.С.

МАИ, г. Москва

Сложно дать исчерпывающий и чёткий ответ на вопрос: «Что такое знания?». Но, несмотря на неконкретность определения, знания представляют невероятную ценность. Всю свою жизнь мы приобретаем их, тем самым повышаем свой уровень развития, интеллекта. Точно так же любому предприятию для развития нужны знания, которые будут преобразовываться в новые продукты, процессы или услуги. И в последнее время, все чаще руководство верно акцентирует свое внимание на обучение своих сотрудников. Ведь результат деятельности любого предприятия или компании зависит от качества знаний персонала. Однако сами по себе знания не смогут принести должного эффекта компании без правильного управления ими. Управление знаниями также не имеет чёткого, устоявшегося определения, из-за своей многогранности. Обычно под ними понимается систематическое формирование, обновление и применение знаний с целью максимизации эффективности предприятий. То есть главной целью является повышение общего статуса и создание конкурентных преимуществ предприятия. Стоит заметить, что последняя версия стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2015 содержит требования к управлению знаниями в пункте 7.1.6. Значит, необходимо научиться управлять ими, чтобы построить эффективную СМК. Но, несмотря на обилие публикаций и исследований в области управления знаниями, до сих пор не существует ни единого подхода к этой дисциплине. Поэтому я хотела бы предложить вариант принципов управления знаниями для интеллектуальных систем. Так как интеллектуальной моделью можно считать любой жизненный цикл, состоящий из определенных процессов. На каждом его этапе происходит накопление

знаний, как явных, которые хранятся на реальных носителях, так и неявных, которые существуют лишь в умах специалистов. Чтобы лучше понять и описать интеллектуальную модель математически, можно использовать логистические S-образные кривые.

S-образная логистическая кривая отражает характер продвижения от начального к конечному состоянию. Но она описывает лишь один этап жизненного цикла, а весь процесс представляет собой несколько сопряженных кривых. Их совокупность и является полным жизненным циклом. Количество кривых зависит от конкретной модели.

Итак, чтобы управлять знаниями всей модели, необходимо управлять ими на каждом уровне. Нужен системный подход, включающий четкие рекомендации и принципы, позволяющие ничего не упустить не только в переходных моментах между этапами жизненного цикла, но и в течение каждого из них. Поэтому, я хочу создать руководство по управлению знаниями, которым могли бы пользоваться все сотрудники. Это помогало бы любому предприятию получать максимальную выгоду и работать эффективнее, при меньших затратах.

## **Мотивация и управление персоналом в системах менеджмента качества**

Поздняк Ю.С.

Научный руководитель – Борисова Е.В.

МАИ, г. Москва

Мотивация и управление персоналом в системе менеджмента качества (СМК) наряду с качеством продукции является одним из важнейших средств конкурентоспособности, завоевания и удержания позиции на рынке. СМК является организационной системой, а это значит, что главную роль в ее работе играет персонал. Качество обслуживания внутри организации напрямую влияет на удовлетворенность персонала своей работой, а также на качество работы и обслуживания клиента. Согласно стандартам ISO 9000, одним из требований к организации является обязательное вовлечение персонала в деятельность всего предприятия. Персонал можно назвать капиталом организации и основной движущей силой, с помощью которой достигаются цели организации и совершенствуются её процессы.

На современном этапе развития экономики одной из важнейших проблем большинства стран мира является проблема в области работы с персоналом. Экономические отношения выдвигают новые требования к персоналу, включающие в себя не только подбор и обучение кадров, но и формирование нового менталитета, а, значит, и методов мотивации, их постоянное улучшение. Во многих отраслях производства нам не хватает высоко - квалифицированных профессионалов, поэтому для любой организации важно правильно сформировать эффективную систему мотивации персонала.

Мотивация в менеджменте представляет собой создание таких условий, при которых человек начинает создавать собственные мотивы для достижения лучших результатов труда. Мотивация обычно структурирована по пяти направлениям: условия работы, ресурсы, признание, взаимоотношения и ответственность. Так как же мотивировать работников?

Вознаграждение персонала— это оплата выполненной работы. Она должна быть справедливой и удовлетворять и персонал, и предприятие. Вознаграждения бывают внутренние и внешние. Внутреннее вознаграждение дает работа, а также общение между сотрудниками. Внешнее вознаграждение дается организацией и руководителем (это стимулирование труда). И некоторые руководители думают, что достаточно материального вознаграждения. Но это не приносит эффективного результата, так как мотивация является результатом сложной совокупности потребностей, которые необходимо определить. Это можно сделать с помощью опроса или анкетирования сотрудников, которое поможет узнать о них больше информации и понять, как их стимулировать.

Для того чтобы увеличить силу мотивации, нужно создать соответствующие условия работы и поставить точные и выполнимые задачи. Можно уменьшить трудность реализации задачи, разделив, например, большую работу на несколько маленьких, которые выполнить проще и быстрее. Не нужно забывать про методы социальной мотивации, то есть похвалу, благодарность, и общественное признание. Руководитель должен делать так, чтобы каждый работник знал, что его работа важна и особенно для предприятия. Также для каждого сотрудника следует определить уровень оптимальной активации и избегать выхода за этот уровень. Всё это поможет создать гибкую мотивационную систему, которая будет вести организацию к успеху, стимулировать персонал к поиску новых решений важных задач. А для совершенствования мотивации нужно постоянно увеличивать уровень разнообразия умений и навыков работника, целостности работы и обратной связи.

### **Новые возможности применения диаграммы Исикавы**

Прокофьева Н.С., Чепрасова И.А.

Научный руководитель – Одинокоев С.А.

МАИ, г. Москва

Диаграмма Исикавы дает возможность выявить ключевые параметры процессов, влияющие на характеристики изделий, установить причины проблем процесса или факторы, влияющие на возникновение дефекта в изделии. В том случае, когда над решением проблемы работает группа специалистов, причинно-следственная диаграмма помогает группе достичь общего понимания проблемы. Также, с помощью диаграммы Исикавы можно понять, каких данных, сведений или знаний о проблеме недостает для ее решения и тем самым сократить область принятия необоснованных решений. Проблема ухудшения качества касается каждого работника, но не каждый готов взять на себя ответственность или признать открыто, что это именно вина сотрудника. В таких ситуациях компании помогает Диаграмма Исикавы, которая помогает найти причину и ответственного за данную причину.

К примеру, в так называемом «малом бизнесе» работает до 50 человек, компания не имеет филиалов, и сотрудники в основном находятся в одном офисе, где имеют возможность подойти друг к другу и в режиме реального времени разобраться с причинами возникновения дефектов или проблем с целью улучшить качество.

Средний бизнес (численность 101-250 человек) имеет больше шансов, чем малый попасть в подобную ситуацию, так как в компании такого уровня уже возможно наличие филиалов, дополнительных офисов и других затрудняющих факторов, и тогда решением будет являться тот же самый вариант, что и на крупном предприятии, который мы изложим ниже.

При рассмотрении крупного предприятия, численностью сотрудников более 1000 человек, мы сталкиваемся с проблемой того, что у компании, как правило, есть несколько филиалов, головной и дополнительные офисы, где сотрудники не знакомы между собой. Тогда возникает ситуация, в результате которой рождается проблема, но ответственный за нее человек не выявляется с первого взгляда. В такой ситуации наиболее разумным является воспользоваться диаграммой Исикавы, но возникает трудность – связаться с отделом, связаться с человеком и просто даже пообщаться. Большее количество сотрудников и любая бумага с трудом будет идти «на вверх» и выходит, что использовать диаграмму Исикавы становится нецелесообразно.

Для решений возникшей на среднем и крупном предприятии проблемы мы предлагаем следующий путь решения: путем создания в Microsoft Visio файла с причинно-следственной диаграммой. Данный файл размещается в облаке OneDrive или на Google Диск, что позволяет всем сотрудникам предприятия использовать данный файл с любой точки и из любого офиса. В облако следует также разместить базу сотрудников, созданную в Microsoft Word, включающую ФИО, контактный телефон и электронный адрес, краткое описание деятельности и ответственности отдела (или отдельного сотрудника). Таким образом, диаграмма Исикавы будет создаваться согласно мнениям всех участников, и корректирующие действия будут направлены на улучшение качества продукции. Преимуществом данной программы является графическое и понятное отображение причин, влияющих на качество. Диаграмма Исикавы является одним из самых удобных и простых инструментов, понятным персоналу различного уровня подготовки. При поддержке информационных технологий она продолжает совершенствоваться и оставаться одним из самых надежных и эффективных инструментов качества.

### **Потребительская экспертиза электрического чайника**

Пчелинцева В.Д., Гаврилков С.А., Якимочева Е.Д.

Научный руководитель – Борзов В.И.

МАИ, г. Москва

Каждый человек в наше время не представляет свой день без чашечки горячего чая или кофе. По этой причине, и по ряду других причин, наиболее часто используемым и необходимым в доме бытовым прибором является именно электрический чайник. Для приобретения и использования в быту электрического чайника необходимо знать его основные характеристики:

Материал, из которого изготовлен корпус. Существуют различные варианты исполнения: пластмасса, металл, керамика, стекло. Самый популярный и доступный вариант – чайник из пластмассы, однако этот материал считается самым вредным, особенно у самых дешёвых моделей. Электрочайник даже из высококачественного пластика рекомендуют менять раз в три года. Достоинства

керамики и стекла – экологичность и безопасность, однако они достаточно хрупкие. Чайник из металла прочный и надёжный, однако, его корпус сильно нагревается, он достаточно тяжёлый, как и керамический. Нержавеющая сталь в принципе считается самым дорогим материалом.

Мощность. А вот мощность – одна из основных характеристик чайника. Именно от нее зависит, насколько быстро закипит вода. Оптимальный вариант 2200 Вт, время закипания воды до трех минут. Недостатками более мощных моделей является их высокая стоимость и потребление большего количества электроэнергии.

Вид нагревательного элемента. Существует два вида нагревательных элементов в электрических чайниках: диск и спираль. Диск, несомненно, считается лучшим вариантом. Во-первых, он вскипятит воду быстрее, во-вторых, даже если чайник будет едва заполнен водой – он не сгорит, что не скажешь о спиральных электрочайниках, в третьих, он легче чистится. Преимущество спирального электрического чайника - более низкая цена.

Объем. Большой объём позволит приготовить большее количество воды за один цикл кипячения, что важно в случае большой семьи или компании. Однако с увеличением объёма возрастает масса чайника и соответственно, увеличивается его тяжесть в руках при наливании воды в чайник и из него.

Фильтр. Необходимо обращать внимание на фильтр, который установлен в чайнике. Чаще всего этот очистительный элемент установлен в носике чайника, по своему составу может быть металлическим или капроновым. Так же возможно установление фильтра на месте залива воды в электрический чайник. Чаще всего это угольный вариант. Однако таким фильтром будет определенная сложность, так как его необходимо менять раз в два месяца, а отдельно в продаже такой вид фильтра потребителю почти невозможно найти.

Температурные режимы. Для ценителей чайного напитка разработаны модели, которые способны автоматически приготавливать воду с нужной температурой, в зависимости от вида чая. Например, для заваривания зеленого чая необходима температура 80°C, красного чая – 70°C, а для белого – 60°C. В современных чайниках существует также функция поддержки необходимой температуры, для того чтобы чайник быстро не остывал. На таких моделях обычно есть индикаторы или ЖК-экраны, с помощью которых можно отследить температуру находящейся внутри жидкости.

Вода – это основа жизни. Приготовление воды – это очень важный процесс. Поэтому правильный выбор электрического бытового чайника для приготовления воды позволит наилучшим образом оценить процесс ее потребления.

## **К вопросу обязательности шести документированных процедур**

Романюк Н.Л., Купырев А.В.

Научный руководитель – Борисова Е.В.

МАИ, г. Москва

В 2015 году на смену стандарта ГОСТ Р ИСО 9001:2011 “Система Менеджмента Качества. Требования” вышел новый международный стандарт в области менеджмента качества ГОСТ Р ИСО 9001:2015 “Система Менеджмента

Качества. Требования”, который в свою очередь содержит ряд нововведений. Текущая версия ГОСТ Р ИСО 9001:2015 “Система Менеджмента Качества. Требования” является более понятным вариантом стандарта 2011 года, так как появилось много дополнительных подпунктов, более точно объясняющих обозначения, термины или иную информацию. Данные нововведения упрощают работу сотрудникам со стандартом, и позволяет людям, не встречавшимся с ним ранее, сразу разобраться в структуре такового. Однако, в новой версии стандарта 2015 года, “Шесть документированных обязательных процедур” стали необязательными при внедрении системы менеджмента качества (СМК).

Шесть обязательных документированных процедур включают в себя:

- управление документацией;
- управление записями о качестве;
- управление несоответствующей продукцией;
- проведение внутренних аудитов;
- проведение корректирующих мероприятий;
- проведение предупреждающих мероприятий.

На наш взгляд, данные процедуры должны оставаться обязательными для успешного внедрения и работы СМК. При прохождении внешнего сертификационного аудита, аудитор вправе потребовать документированные процедуры. Для иллюстрации вышесказанного в качестве примера можно взять одну из шести документированных процедур “Корректирующие мероприятия”. Как мы знаем, любое предприятие, выпускающее продукцию, дорожит временем и старается обезопасить себя от возможных дополнительных потерь, как времени, так и ресурсов. Большинство предприятий для предупреждения возможных потерь, разрабатывают и внедряют у себя процедуру проведения корректирующих мероприятий, которые были обязательны в стандарте ГОСТ Р ИСО 9001-2011 “Система Менеджмента Качества. Требования”. Делается это для того, чтобы в случае непредвиденных ситуаций на рабочем месте, решить проблему в кратчайшие сроки. В качестве примера возьмем разрыв водопроводной трубы, вследствие чего рабочее место приходит в негодность, возобновить работу мы сможем только после устранения всех неполадок, которые приведут к дополнительным затратам. Коррекцией будет являться - перекрытие стояка, корректирующим действием будет - замена участка прорвавшейся водопроводной трубы и ежеквартальная проверка данного участка. После разработки и внедрения данной корректирующей процедуры, предприятие будет иметь готовое решение для ситуации с прорвавшейся трубой. Соответственно при повторении похожей проблемы или возникновении другой внештатной ситуации, мы сможем воспользоваться разработанной документированной процедурой для скорого решения возникшей проблемы.

Шесть документированных процедур являются универсальными помощниками для предприятий, так как каждая из процедур является сильным инструментом, будь то управление документацией, в которой прописана разработка, внедрение, а также ведение документации для её быстрого отслеживания и восприимчивости информации, или же корректирующие мероприятия, с помощью которых, как описывалось раньше, мы можем устранять проблемы, проанализировав полученную информацию, применить действия для предотвращения повторений данных инцидентов.

## Перспективное планирование качества продукции

Сабирова С.А.

Научный руководитель – Борисова Е.В.

МАИ, г. Москва

В соответствии с принципами менеджмента качества каждое предприятие должно быть ориентировано на своего потребителя, а значит должно быть заинтересовано в перспективном планировании качества своей продукции. Для обеспечения требований потребителя необходимо внедрить такую систему, которая обеспечивала бы планирование на ранних стадиях, идентифицировала бы требуемые изменения в начале процесса, обнаруживала бы потенциальные проблемы на ранних стадиях, а также обеспечивала бы производство качественной продукции в срок и с наименьшими затратами. Всеми этими качествами наделена система APQP (перспективное планирование качества продукции и планы управления). APQP является методикой планирования, разработки, подготовки производства с акцентом на предупреждение ошибок, постоянное улучшение и совершенствование продукции, которая должна соответствовать требованиям потребителя и превосходить их. Данная система состоит из 5 последовательных этапов:

1 этап. Планирование и определение программы. На данном этапе составляется план всех последующих мероприятий, который ориентируется на заранее известный день начала производства новой серийной продукции, а также техническое задание на разработку новой продукции, которое является результатом анализа «голоса потребителя».

2 этап. Проектирование и разработка продукции. На данном этапе проводится верификация и валидация конструкции, а также перечисляются ключевые показатели продукции, которые потребуют в дальнейшем особого внимания.

3 этап. Проектирование и разработка процессов. Проектировщиками процесса разрабатывается технология, которая в дальнейшем должна быть верифицирована, перечисляются ключевые технологические операции и режимы, в результате выполнения которых формируются ключевые показатели продукции.

4 этап. Валидация продукции и процессов. Этот этап обеспечивает всестороннюю проверку готовности производства, валидацию подготовленного производства путём экспериментальной проверки его способности обеспечивать выпуск качественной продукции за счет выпуска установочной партии.

5 этап. Обратная связь, оценка и корректирующие действия. Проводится мониторинг удовлетворённости потребителей по ряду показателей, важных как для потребителя, так и для производителя, работа процессов становится более стабильной, с меньшим разбросом показателей качества, разработчики приходят к более глубокому пониманию всех свойств процессов.

Таким образом, предприятия, выполняющие у себя все этапы методики APQP, будут производить качественную, но не требующую больших затрат продукцию, а их потребитель всегда будет удовлетворен. Хотелось бы отметить, что хоть данная методика и была изобретена в автомобильной промышленности для производства автокомпонентов, но по сути своей она является

универсальной и может быть применима в любой отрасли для достижения желаемого результата.

**Анализ методов неразрушающего контроля, применяемых  
в авиационной промышленности для конструкций  
из композиционных материалов.**

Сергеенко Д.Д., Туев Д.В., Юргенсон С.А.  
Научный руководитель – Васильев С.Л.  
МАИ, г. Москва

В настоящее время в авиационной промышленности широко используются композиционные материалы, например в самолетах Boeing 787, Airbus A350 доля полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкции планера доведена до 50%. В самолетах легкой авиации весовая доля этих материалов в конструкции достигает 80% от веса планера, что позволяет упростить технологию сборки и увеличить весовое совершенство данных самолетов.[1] Несмотря на явные преимущества по сравнению с металлическими материалами, для композиционных материалов характерно наличие больших внутренних дефектов влияющих на прочностные и усталостные характеристики. Поэтому для выявления данных дефектов, а так же прогнозирования поведения материала во время эксплуатации используют методы неразрушающего контроля. [1]

Одни из самых распространенных методов неразрушающего контроля, позволяющие выявлять дефекты, характерные для ПКМ - термография, акустическая эмиссия, спектральная интерферометрия, вычислительная рентгеновская томография, ультразвуковая и оптическая дефектоскопия. Данные методы позволяют выявлять внутренние дефекты на различных этапах жизненного цикла конструкции из ПКМ.

В то же время каждый из перечисленных методов имеет ряд своих особенностей, которые позволяют наиболее эффективно использовать их для выявления конкретных типов дефектов. Для определения возможных областей применения конкретного метода НК были проанализированы отдельные типы приборов. В качестве параметров сравнения были выделены: точность, время сканирования типового изделия, выявляемые типы дефектов. На основе анализа собранной информации было проведено сравнение перечисленных выше методов контроля, дана характеристика их применимости для конкретного типа изделия на различных этапах жизненного цикла.

Литература:

Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник/В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, А.В. Ковалев и др., Под ред. В.В. Клюева. 2-е изд., испр. И доп. - М.: Машиностроение, 2003. 656с., ил.

Марусина М.Я., Казначеева А.О. Современные виды томографии. Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 132 с.

Серьезнов А.Н., Степанова Л. Н., Кабанов С.И., Кареев А.Е. Акустико-эмиссионный контроль авиационных конструкций М. Машиностроение. 2008

## **Интеграция национальных стандартов с международными, на примере автопрома Китая**

Степанов А.А., Гитинаев И.М.

Научный руководитель – Борисова Е.В.

МАИ, г. Москва

Правительство большинства стран, не ставит в приоритет создания интегрированных национальных стандартов с международными, это в последствии сказывается негативно на экономике в целом. Хорошим примером данного утверждения можно назвать сегодняшнюю ситуацию на автомобильном рынке Китая.

Крупные иностранные автоконцерны бьют тревогу об активном введении в Китае своих собственных систем сертификации в автомобильной промышленности.

В прошлом власти Китая позволяли иностранным автопроизводителям продавать свои автомобили на авторынках Китая, без обязательного прохождения локальной сертификации – главное условие соответствие международным стандартам.

В последнее время власти Китая запрашивают у иностранных автоконцернов сертификаты на автомобили, которые соответствуют старым национальным стандартам, к которым относятся такие банальные требования как прочность навесных деталей (крылья, бампера, пороги и т.п.), эффективность тормозной системы, габариты и расположения осветительного оборудования, а также зеркал, выпускной системы.

Эти нововведения повлекут за собой то, что автоконцернам придется заниматься дорогостоящими доработками своей продукции. Например, совсем недавно китайские органы по сертификации автомобилей, направили уведомление в компанию Nissan Motor с просьбой изменить текущее расположение противотуманных фар на одном из автомобилей производителя, так как они не соответствуют принятым нормам в стране. Подобными модификациями и доработками стали заниматься и другие крупные автопроизводители, чтобы сохранить свои позиции.

По оценке экспертов, перемещение фары всего на пару сантиметров может повлечь за собой необходимость повторного проектирования наружных панелей кузова, большие дополнительные затраты на переоборудование производства, настройки различного оборудования и агрегатов, а это влечёт за собой задержку выхода автоконцернов на локальный рынок автомобилей более чем на полгода или год. С связи с этим автоконцерны теряют миллионы долларов на перепроектировании, чтобы их продукция соответствовала Китайским стандартам.

Специалисты пришли к единому мнению, что европейские стандарты и системы сертификации автомобилей, которые являются международными, постоянно развиваются, дорабатываются, совершенствуются параллельно с развитием последних разработок и технологий, тогда как стандарты Китая постоянно отстают, и поэтому производителям сложно делать продукцию, которая не соответствует европейским нормам.

Эксперты говорят о том, что стремление работать и продвигать собственные стандарты, вызвано желанием властей Китая значительно приостановить реализацию автомобилей на местном рынке иномарок, с целью развития своих собственных автомобилей, и тем самым защитить его от конкуренции со стороны иностранных компаний.

Представители комитета отметили, что с недавнего времени Китай в ускоренном порядке пытается актуализировать свои собственные стандарты, основанные на международных. Процесс актуализации, доработки и пересмотра занимает значительное количество времени. Как результат, из-за этого новые китайские стандарты снова будут не только отличаться, но и снова будут отставать на несколько шагов от европейских.

### **Проблема неразвитости комплексной оценки качества сырья и готовой продукции**

Тахаева Д.А.

Научный руководитель – Якушев Д.А.

МАИ, г. Москва

Обеспечение качества продукции и промышленных материалов на сегодняшний день является одной из самых сложных задач, с которыми приходится сталкиваться при производстве продукции. На отечественных предприятиях эта задача до начала 90-х годов XX века решалась путем внедрения комплексной системы управления качеством продукции (КС УКП).

Современные подходы к управлению качеством, в основе которых лежат международные стандарты ИСО серии 9000, - это деятельность, направленная на создание таких условий на производстве, которые необходимы для выпуска продукции соответствующей по всем параметрам установленным требованиям.

Всё сырье и материалы, поступающие на предприятие и идущие в производство, подлежат измерению с целью проверки соответствия их характеристик установленным требованиям. Подтверждение соответствия критериям приёмки должно оформляться в виде соответствующих документов и поддерживаться в рабочем состоянии. [1]

Зачастую низкое качество используемого сырья и материалов связано с недостаточным уровнем исследований, как со стороны поставщиков, так и со стороны предприятий (компаний) - потребителей. Для определения важнейших параметров качества сырья необходимо учитывать специфику изготавливаемого продукта. Например, при рассмотрении глинистого сырья, главным при определении особенностей разработки карьера, состава шихты, оптимальных технологических параметров, необходимого количественного и качественного состава оборудования и в конечном итоге свойств готовых изделий, являются физико-химические и керамические свойства данного сырья.[2] Существует множество анализов по исследованию единичных характеристик, по которым оценивается сырьё и материалы, но не всегда проводится комплексная оценка.

Несмотря на наличие огромного множества различных методов оценки качества на сегодняшний день, изучение этого вопроса показывает, что специальных работ, посвященных комплексной оценке качества недостаточно. Фирмам производителям невыгодно тратить средства на комплексные

исследования. Они заинтересованы в дешёвом сырье и выпуске дорогого готового продукта сомнительного качества. Российские производители ещё не осознали простую истину: для изготовления конкурентоспособной продукции необходимо качественное сырьё.

В связи с этим, даже в промышленно развитых странах, вопросам разработки методик лабораторных испытаний не уделяется должного внимания, а результаты проводимых исследований часто носят поверхностный характер. Учитывая то, что состав сырья может кардинально отличаться по своим физико-химическим свойствам, разработка новых инструментов для решения данной проблемы остаётся актуальным.

Литература:

Якушев Д.А. - Поиск оптимальных методов обеспечения качества и надежности отечественных технологий мембранной очистки –Избранные научные труды четырнадцатой Международной научно-практической конференции «Управление качеством», 11-12 Марта 2015 / ФГБОУ ВПО «МАТИ – Балтийский государственный государственный технологический университет имени К.Э.Циолковского»- М.:ПРОБЕЛ-2000, МАТИ, 2015.

В.А. Езерский, Д.В. Крелевецкий - Качество керамического кирпича начинается с исследования сырья. (<https://ru-ru.facebook.com/ASUTPKirZavod/posts/572794996069144>)

## **Способ успешного взаимодействия с потребителями на примере CRM**

Токметова К.В.

Научный руководитель – Александров М.Н.

МАИ, г. Москва

Если несколько лет назад потребители обращали внимание на качество продукции, то сегодня к принятию решения о приобретении добавляется еще и сервис. Конкуренция идет на уровне предоставления услуг.

Для успешного развития своей деятельности производитель должен стремиться удовлетворять все пожелания и запросы покупателя, поэтому "ориентация на потребителя" является основополагающим принципом СМК. Ввиду этого факта производителю в рамках своей организации следует построить такую систему управления, которая будет способна определять требования каждого участка цепочки "производитель- потребитель". Такая система позволит эффективно вести производственную деятельность с целью удовлетворения запросов потребителя, а также с целью предугадывания желаний.

В ГОСТ Р ИСО 10014 – 2008 «Руководящие указания по достижению экономического эффекта в системе менеджмента качества» при рассмотрении принципа «ориентация на потребителя» в организации предлагается применять CRM при исследовании рынка.

CRM (Customer Relationship Management) - менеджмент взаимоотношений с потребителями - стратегия организации, которая нацелена на построение наиболее выгодных отношений с клиентами во всей цепочке "производитель -

потребитель". Речь идет о таких аспектах, как реклама, продажа, доставка, послепродажное обслуживание и т.д. Стратегия нацелена на то, чтобы организация обладала единым хранилищем информации. Это значительно упрощает работу, так как есть возможность получить сведения о клиенте быстро и своевременно, а также синхронизированно управлять различными каналами взаимодействия и проводить анализ собранной информации касательно взаимовыгодных отношений с клиентами. К этим сведениям относятся, например, демографические, социальные, географические характеристики, а также привычки, предпочтения, заинтересованность. Путем дальнейшего формирования системы из собранной информации можно выявить чувствительные точки покупателя.

Система CRM эффективна тем, что с ее помощью можно координировать действия отделов организации (отдел продаж, маркетинга, сервис). Внесение изменений и новой информации, как правило, доступно всем отделам. При этом другие имеют возможность ознакомиться с обновленной базой данных в короткие сроки, то есть, как только будет сохранена новая информация. Актуализация данных в единой базе значительно увеличивает процесс взаимодействия внутри организации. Каждый отдел может в полной мере оценить текущую ситуацию, которая относится к любому отдельно взятому клиенту.

Создание базы данных, безусловно, положительно влияет на развитие бизнеса, но обладает дороговизной за счет установленной и настроенной программы, оборудования, привлечения к управлению системой дополнительного персонала. Обычно такой вариант подходит для более крупных организаций, если говорить об использовании SAP и Oracle как сложных интегрированных решений.

В качестве альтернативы можно использовать низкотехнологичные решения. Например, анкетирование клиентов. Если организация небольшая, то создание базы данных на основе применения несложных решений подходит для анализа клиентов.

В любом случае менеджмент взаимоотношений с потребителями (CRM) повышает результативность деятельности организации за счет возможности работы с информацией в единой системе.

### **Систематизация документооборота в проекте подготовки производства и выпуска автокомпонентов**

Фаттахова Г.Р., Ямалиева Р.А.

Научный руководитель – Касьянов С.В.

К(П)ФУ, г. Казань

Успехи ведущих автомобильных корпораций на мировых рынках во многом обусловлены высоким качеством подготовки производства новых изделий и отдельных автокомпонентов.

Созданные в нашей стране в эпоху индустриализации заводы выпускали продукцию для обезличенного потребителя. Задача управления ограничивалась обеспечением качества. Хотя процедура подготовки производства была глубоко проработана и стандартизована, на деле и качество работ, и сроки выполнения

были далеки от идеала. Главной обязанностью технологов была разработка комплекта технологической документации, в котором содержались требования к выполнению процессов. При этом содержание многих процедур и последовательность их выполнения были оставлены на усмотрение самого специалиста.

С 80-х годов XX века разрабатываются программные средства для автоматизации технологического проектирования (ADEM; СПУТ; T-Flex и другие). Однако, они не повышают качество работ, не обеспечивают принятие оптимальных решений, а всего только сокращают время на заполнение стандартизованных форм технологических карт.

Внедрение стандарта ISO/TS 16949-09 требует перейти к регулированию значений ключевых показателей качества. Для этого необходимо определить значительно больший объем требований, а главное – оперативно планировать корректирующие действия на основе данных мониторинга. Объем информации для управления многократно возрастает.

Для эффективной программной реализации предложено структурировать комплекс документов и записей по законченному жизненному циклу автокомпонента на всех этапах проекта подготовки производства, а также в ходе его выпуска.

На каждом из этапов проекта определен полный набор разрабатываемых документов и форм записей. Выделены функциональные группы документов (конструкторские, технологические, метрологического обеспечения, управления качеством, управления проектом и др.) – всего свыше 30-ти групп. Разработана система их кодирования, и однозначно определена последовательность подготовки документов.

Документированные процедуры управления проектом нацелены на достижение требуемых результатов в каждом его этапе. Все они содержат ссылки на необходимые документы.

Технологическая документация отражает иерархическую структуру этапов жизненного цикла (технологические маршруты, операции, технологические переходы). В отличие от нынешних комплекты формируются для полного производственного цикла изготовления деталей или сборки готового агрегата. При этом в операционных технологических картах предусмотрено отражение полного набора контрольных характеристик, влияющих на значения ключевых показателей качества. В качестве приложений введены методики измерения ключевых показателей качества, контрольные листки сбора статистических данных, рабочие инструкции операторов и наладчиков.

Выполненная работа позволяет автоматизировать значительную часть работ по подготовке производства, а также автоматически планировать действия по управлению качеством в серийном производстве. Программная реализация обеспечит также предупреждение значительной части потенциальных потерь в серийном производстве.

## **Преимущества внедрения бережливого производства на отечественных предприятиях в современных условиях**

Худякова Е.С.

Научный руководитель – Борзов В.И.

МАИ, г. Москва

Одним из главных вопросов на производстве является поддержание должного уровня качества выпускаемой продукции или услуг.

Поддержание должного уровня качества обеспечивается с помощью внедрения различных методов и инструментов на производстве. Особую актуальность в настоящее время приобретает методология «Бережливое производство», активно внедряемая как на зарубежных, так и на отечественных предприятиях различных сфер деятельности. Она направлена на сокращение потерь – издержек производства, не добавляющих ценности для потребителя. Одним из наиболее существенных видов потерь является выпуск дефектной, некачественной продукции, т.е. продукции, не соответствующей требованиям.

В сложившихся на данный момент условиях экономического кризиса данная методология приобретает большой интерес для развития отечественного сектора экономики и самообеспечения необходимыми товарами и услугами за счёт экономии и оптимизации имеющихся ресурсов.

Бережливое производство позволяет повысить качество производимой продукции и услуг, обеспечить рост производительности труда и уровня мотивации персонала, что, в конечном счете, отражается на росте конкурентоспособности предприятия. Этот эффект достигается за счет того, что данная методика основана на системном подходе к выявлению скрытых потерь на предприятии и их устранению с помощью различных методов, систем, принципов и подходов, например:

- «вытягивающего» производства, ориентированного на требования конкретного потребителя;
- системы Just-in-time и карты KANBAN;
- контроля качества на рабочем месте;
- метода 5S;
- защиты от ошибок (покэ-ёка);
- метода непрерывного улучшения (KAIZEN, KAIRYO) и т.д.

Бережливое производство на предприятии борется со всеми аспектами скрытых потерь, учитывая при этом безопасность и удобство работы для персонала. Различные виды потерь увеличивают издержки производства, время изготовления продукции и ведут к снижению мотивации сотрудников. Определение и устранение потерь позволяет ежегодно экономить миллионы рублей тем организациям, которые регулярно оценивают свою деятельность по стандартам бережливого производства.

Главными целями системы бережливого производства, следовательно, являются:

- снижение затрат;
- снижение сроков выпуска продукции;
- сокращение складов и производственных площадей;
- гарантированные поставки заказа клиенту вовремя;

- достижение максимально возможного качества при заданной стоимости;
- и другие.

Успешный опыт внедрения бережливого производства в мире показывает, что при правильном подходе, адаптированном к нашему менталитету и особенностям нашей экономики, российские предприятия и компании смогут не только сократить свои издержки, что важно в текущих условиях, но и повысить качество своей продукции и её конкурентоспособность.

## **Качество и уровень жизни в России в период кризиса**

Чичинова Э.В.

Научный руководитель – Борисова Е.В.

МАИ, г. Москва

Уровень жизни населения состоит из таких факторов как средняя заработная плата, качество медицинского обслуживания и образования, возможности для предпринимательства, уровень безопасности, экология. За прошедший 2015 год размер зарплат, пенсий и других доходов резко упал, а доля населения, работающего на неполной занятости, увеличилась. При этом почти пятая часть всех выплат населению идет не на зарплаты, а на выплаты пенсий, стипендий и разнообразных социальных пособий. По данным официальной статистики зарплаты увеличились на 9,4%, тогда как уровень инфляции перешел через отметку в 16%. Число граждан с доходом ниже прожиточного минимума за год повысилось на 15%, да и сам этот показатель был повышен и составил примерно 10000 рублей на одного гражданина.

Несмотря на то, что перед началом кризиса в 2014 году в государстве было замечено быстрое увеличение доходов, степень классового расслоения общества не уменьшилась. В некоторых социальных группах наблюдался непомерно высокий уровень доходов. По приблизительным оценкам на долю 1% самых богатых граждан приходилось 60% всех доходов. Большая половина населения страны уже приблизилась к черте бедности, в то время как цена на продукты первой необходимости продолжает расти.

Кризис не обошел стороной и представителей малого и среднего бизнеса, государственной поддержки которым оказалось недостаточно. Доля разорившихся предпринимателей составила 22%, а прибыль остальных едва покрывает расходы. По прогнозам, в 2016 году количество индивидуальных предпринимателей будет только уменьшаться. С этим связан резкий рост инфляции, которая является ускоряющим фактором кризисной ситуации. Пик инфляции ожидают в 2016 году. В свою очередь, ситуация с внешней экономикой также не предвещает выхода из кризиса. Экономисты готовятся к последующему ухудшению экономической ситуации в стране.

Из-за запрета на ввоз импортных продуктов ожидался большой рост прибыли отечественных производителей, но ожидания не оправдались. Вероятность обнищания жителей деревень в настоящее время очень велика, вследствие чего наблюдается быстрое увеличение темпов урбанизации.

Анализируя данные прошлого, становится ясно, что с такой ситуацией Россия ещё не сталкивалась. По прогнозам специалистов, наступивший кризис не

сможет ограничиться годом или двумя, а станет самым продолжительным за последние двадцать лет. Экономика России сможет начать движение вверх только к 2018 году. Дело в том, что большая часть экономических ресурсов страны исчерпана. Переменчивый курс валют, уменьшение предпринимательского сектора, рост инфляции привели к падению уровня жизни населения и доходов граждан нашей страны.

Понятие качества жизни включает в себя как материальную обеспеченность (уровень жизни), так и другие показатели: здоровье и продолжительность жизни, условия жизни и труда, уровень образования, доступ к культурному досугу, психологические и социальные настроения в обществе. На удивление, по большинству показателей наблюдается положительная динамика. Продолжительность жизни превысила 71 год, а смертность трудоспособного населения существенно снижается. Среди населения отмечается уменьшение количества курящих и употребляющих алкоголь граждан. Заметно улучшение качества медицинского обслуживания. Валовое национальное счастье растёт, к сожалению, в отличие от ВВП. Исходя из выше следующего, можно сделать вывод, что качество жизни не всегда соответствует уровню жизни в стране.

### **Разработка метода оценки рисков потребителя при эксплуатации продукции**

Шильникова Е.В.

Научный руководитель – Одинокоев С.А.

ТПУ г. Томск

В январе 2016 года был опубликован «Оперативный мониторинг экономической ситуации в России», демонстрирующий что устойчивое падение реальных зарплат и доходов стимулировало население к переходу к сберегательной модели поведения(по приведенным в мониторинге прогнозам, падение продолжится и в 2016 г.).Сознательный переход населения на сберегательную модель поведения напрямую повлияет на покупательскую активность в ближайшие годы: потребитель становится более избирателен, предъявляя повышенные требования не только при выборе, но и при эксплуатации продукции (использовании услуг), более внимательно относится к отстаиванию своих прав согласно ФЗ «О защите прав потребителей». Все чаще в прессе появляются обзоры судебной практики о ненадлежащем качестве товара, выявленном в период эксплуатации.

Так, перед руководителями российских компаний встала новая задача – понять, как изменились предпочтения потребителей в РФ, и разработать эффективные ответные меры по изменению технических характеристик продукции и услуги (показателей качества), при этом учитывая условия жесткой конкурентной борьбы. Для компаний РФ ситуация осложняется дополнительно двумя факторами, такими как политика импортозамещения и необходимость снижения себестоимости продукции/услуг в связи с ростом цен на материалы при сохранении конкурентоспособных цен на рынке.

Большинство руководителей российских компаний, решая эту задачу, внедряют Систему менеджмента качества (СМК) на основе стандарта ISO 9001. Стандарт ISO 9001:2015 основан на принципах процессного подхода и дает

разъяснение, что «последствиями предоставления несоответствующих товаров и услуг для одних организаций могут стать небольшие неудобства для потребителей, для других такие последствия могут стать далеко идущими и фатальными». Методология, которая предложена в версии 2015г., позволяет организации использовать процессный подход совместно с PDCA и принятием решений, основанном на рисках. Таким образом, мышление, основанное на рисках, должно учитываться на протяжении всего жизненного цикла создания продукции / оказания услуги, делая предупреждающее действие неотъемлемой частью планирования, функционирования, анализа и оценки и является частью процессного подхода. Предлагаемый метод оценки рисков и мониторинга параметров функционирования процессов организаций, основан на количественной оценке нежелательных последствий для потребителя в случаях предоставления продукции и услуг ненадлежащего качества (качества, не отвечающего требованиям Заказчика), с использованием инструментов QFD и FMEA. Применение метода позволило выявить зависимость между желанием потребителя и техническими характеристиками новой (или модернизируемой старой) продукции, «расстановки приоритетов», определить количественные оценки критичности и значимости каждого выявленного фактора лояльности потребителя. Принимая во внимание значения таких показателей, как стабильность производства качественного продукта (% брака), приток/отток потребителей, удовлетворенность потребителей (количество жалоб на качество продукта и обслуживания), стабильность поставок материалов, компании увеличивают шансы на успешное функционирование, процветание и развитие.

Разработка эффективной системы управления рисками при эксплуатации продукции является актуальной для каждого предприятия. Предлагается широкое применение разработанного метода в разных отраслях промышленности, таких как строительство, машиностроение, в том числе и в авиационной отрасли, так как специфика деятельности подразумевает управление рисками постоянно вне зависимости от того, в какой фазе находится предприятие: устойчивого развития или кризиса.

## **Методы повышения качества туристических услуг**

Юшкова А.И.

Научный руководитель – Борисова Е.В.

МАИ, г. Москва

Туризм для многих развивающихся стран является, чуть ли не основным источником дохода населения. В связи с современной ситуацией в мире эта отрасль претерпевает значительные трудности. Проблема качества туристических услуг является очень актуальной, ведь самое важное понятие в конкурентной борьбе - качество.

На практике потребитель часто замечает следующие важные моменты: как быстро и качественно организация подобрала тур по его запросу. Здесь важна скорость обслуживания, получения справочной информации и удовлетворение пожеланий каждого конкретного клиента; вежливость обслуживания клиента сотрудником туристической организации (они должны быть внимательными и терпеливыми при обсуждении будущего тура); соответствие предлагаемого тура

его реальному содержанию (здесь у потребителя складывается впечатление об уровне всей организации в целом); опыт использования данной услуги самим потребителем или его друзьями.

Целью любой организации и туристической в том числе, является получение прибыли. Для этого необходимо удовлетворить все потребности потребителя. Он останется доволен, только если он получит качественную услугу. Следовательно, туристические организации должны повышать качество предоставляемых услуг. Для того чтобы это сделать, необходимо соблюдать несколько правил:

- Следовать некоторым важным принципам в сфере туризма: максимальное соответствие предоставляемых услуг желаниям потребителя; неразрывная связь сервиса с маркетингом; гибкость предоставления туристических услуг, т.е. ориентированность на учет изменяющихся требований рынка и предпочтений потребителей.

- Создать необходимые условия для персонала, от которого зависит качественный сервис. К таким условиям относятся: эргономичность рабочих мест; формулировка правил, обязательных для каждого сотрудника и соблюдение трудовой дисциплины; чёткая система оценки качества работы каждого сотрудника, позволяющая объективно измерять эффективность сервиса; мотивация персонала, его самосовершенствование, заинтересованность в качественной работе и развитии организации; система повышения квалификации персонала

- Оптимизировать организационную структуру управления туристической организацией. Это означает, что необходимо сократить число элементов, но без ущерба качеству обслуживания. При таком подходе исключается вероятность совершения ошибки, так как заказ передается по короткой цепочке.

- Всесторонний и непрерывный контроль качества сервиса, предполагающий: участие потребителя в оценке качества (например, путем анкетирования); создание систем самоконтроля персонала; участие персонала в создании систем и критериев качества; применение технических средств контроля качества; создание служб контроля из представителей различных отделов.

Важным аспектом для любых туристических организаций является создание хорошей репутации, которая определяется качеством предоставленных услуг. Она складывается из высокого качества обслуживания потребителей, которое достигается усилиями каждого работника данной организации, а также внедрения новой техники и технологий, изучения рынка, меняющихся потребностей потребителей и постоянного расширения ассортимента предоставляемых услуг. Организация должна следить за уровнем удовлетворенности своих потребителей и при его снижении непременно повышать качество предоставляемых услуг.

## **Риск – ориентированный менеджмент в авиастроении**

Якимочева Е.Д.

Научный руководитель – Александров М.Н.

МАИ, г. Москва

Авиастроение – одна из самых высокотехнологичных отраслей промышленности, приносящая огромный вклад в национальное обеспечение безопасности страны. Наличие развитой авиационной отрасли в стране является особым побуждением для инновационных разработок в приборостроении, машиностроении, металлургии. Все это мотивирует увеличивать инновационные процессы в экономике в целом.

Непрерывно в авиастроении России существует определенный потенциал, однако есть ряд проблем, сокращающих объемы производства. Основные из них это: нуждающиеся в модернизации производственные технологии, дефицит профессиональных кадров, неритмичность финансирования Научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а так же дефицит исследований отдельных видов рисков и, как следствие, ограниченное внедрение их рекомендаций напрямую в практическую деятельность наших отечественных предприятий.

Наличие разноплановых рисков в деятельности по производству сложной техники, является неотъемлемой частью, в том числе и для авиации. К примеру, для сложных проектов весомую роль играют вопросы технологической обеспеченности, степень решения которых существенно влияет на уровень риска и реализации проекта. Очевидно, что возрастание уровня рисков, граничащих с планируемыми для применения технологиями, влечет за собой соответствующее повышение потребности в ресурсах.

Не менее важным условием надежной и эффективной эксплуатации сложной технической системы, а также повышения эффективности управления является оперативный анализ и быстрое реагирование на несоответствия и замечания, полученные в процессе управления. Существующая сегодня система учета и анализа несоответствий и замечаний уже не удовлетворяет в полной мере требованиям нормативных документов, особенно в части, касающейся постоянного мониторинга, анализа и оперативного устранения несоответствий. Решение данной проблемы диктует необходимость проведения превентивных мероприятий по снижению риска, связанного с потенциальным или фактически выявленным отказом или несоответствием.

На основании вышесказанного, правомерно заключить о необходимости, прежде всего, изменения подходов и методов управления качеством, надежностью и безопасностью на ранних этапах создания сложных технических объектов. В данных условиях одним из наиболее значимых путей решения проблемы снижения риска, связанного с отсутствием адаптивной рыночной стратегии к изменяющимся условиям и тенденциям рынка авиастроения, представляется выработка системы предупреждающих мероприятий на ранних этапах создания перспективных изделий авиатехники, обеспечивающей высокий уровень гарантирования их качества, надежности и безопасности.

Таким образом, несмотря на то, что конкуренция на внутреннем и внешнем рынках традиционных самолетов очень велика, есть определенные пути и

значительные резервы повышения емкости рынков авиационной техники. Как сказал Ю.А. Гагарин: «Во все времена и эпохи для людей было высшим счастьем участвовать в новых открытиях».

Важно, чтобы инновационное развитие национального авиастроения, сфокусированное на риск – ориентированном подходе, было направлено на системное решение существующих в данное время социально-экономических проблем широких слоев населения и проблем разных областей экономики.

## **Зависимость качества готовой продукции от качества исходного сырья**

Якушев Д.А.

Научный руководитель – Одинокоев С.А.

МАИ, г. Москва

Все чаще существенное внимание уделяется вопросам повышения качества жизни населения. Потребность населения в чистой воде, пригодной по качеству для использования, и современных технологиях очистки сточных вод, непрерывно растет. В тоже время естественные водные ресурсы регулярно загрязняются деятельностью человека.

Рост требований к уровню качества, надежности и безопасности питьевой воды и разнообразных технических жидкостей в первую очередь диктуется сегодня состоянием окружающей среды и воздействием на неё человеком. Достижение лидирующих позиций отечественной промышленности в области фильтрации невозможно без освоения новых подходов, направленных на повышение уровня качества, надежности и безопасности технологий фильтрации.

Мембранная фильтрация на основе керамики и по сей день остается одной из передовых технологий на мировом рынке очистки жидких и газовых сред.

На протяжении долгого времени мембранные технологии обработки воды находят разнообразное эффективное применение. Данные технологии применяются при подготовке питьевой воды, для очистки воды от разнообразных примесей, способных вызывать разного рода болезни, при обработке сточных вод получать на выходе воду, пригодную для последующего использования в промышленности, а подвергая фильтрации индустриальную сточную воду в результате получать воду, пригодную для повторного использования.

Качество готовых керамических мембран, количество технологических отходов и брака в большинстве случаев зависят от качества исходного сырья и условий его хранения. Необходимо также учесть, что производство керамических мембран является материалоемким и крупнотоннажным, а однородность и кондиционность сырья не всегда соблюдаются поставщиками. Именно это и объясняет повышенное внимание, которое необходимо уделить п. 8.4. ГОСТ Р ИСО 9001-2015, в котором говорится о том, что организация должна определять и применять критерии оценки, выбора, мониторинга результатов деятельности, а так же повторной оценки внешних поставщиков, исходя из их способности выполнять процессы или поставлять продукцию и услуги в соответствии с требованиями. Организация должна регистрировать и

сохранять документированную информацию об этих действиях и о любых необходимых действиях, вытекающих из оценок.

Поиск подходящих оптимальных методов обеспечения высокого качества, конкурентоспособности и эффективных форм организации управления производством является сегодня первоочередной задачей компаний, занимающихся разработкой, производством и усовершенствованием систем фильтрации с использованием мембран на основе керамики.

## **Постановка задачи исключения установки контрафактных запасных частей и агрегатов на воздушное судно**

Липунов В.А.

Научный руководитель – Боков М.М.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

В настоящее время отдельные агрегаты (А) и запасные части (ЗЧ) к воздушному судну (ВС) маркируются табличками с условным обозначением, порядковым номером и датой выпуска, что не позволяет идентифицировать их движение.

Цель работы – выбор метода идентификации А и ЗЧ устанавливаемых на ВС, с последующим контролем за их использованием.

Идентификация - это присвоение объекту уникального наименования, номера, знака, условного обозначения, признака или набора признаков и т.д., позволяющих однозначно выделить его из других объектов; процедура, предполагающая маркировку и этикетирование сырья, материалов, комплектующих изделий, готовой продукции (единицы, партии и т.д.), а также технической и технологической документация на них, обеспечивающих прослеживаемость их использования или местонахождения данного объекта.

Идентификатор - это наименование, набор символов, символ, номер, знак, условное обозначение, признак или набор признаков (то, что выделяет его из множества других подобных объектов), обозначающее уникальное имя (обозначение) изделия.

Прослеживаемость – способность проследить предысторию, использование или местонахождение единицы продукции (изделия) или действия, или аналогичной продукции или действий с помощью идентификации.

В настоящее время применяются следующие методы идентификации А и ЗЧ на ВС:

металлическая табличка - прикрепляется к изделию, по сути своей является отдельной группой деталей (собственно табличка плюс средства для ее крепления на изделии, например заклепки, реже клей) и может быть прикреплена не ко всем изделиям, ввиду необходимости иметь отверстия для крепежа, что определяет ее низкую технологичность;

бирка – лист материала, прикрепляемый к маркируемому изделию при помощи гибкой связи - шнура, проволоки, пластикового хомута;

ударный метод – объединяет ряд технологий, освоенных на локальной холодной деформации материалов (клеймение, маркировка наборными нумераторами и т.д.)

Для обеспечения сохранности А и ЗЧ необходимо применение более совершенных технологий при идентификации А и ЗЧ.

Исследования показывают, что лазерный метод нанесения признаков идентификации на А и ЗЧ представляется в настоящее время наиболее перспективным.

Суть его сводится к нанесению идентификационной информации лазером, причем эти обозначения сохраняются в широком диапазоне температур и при воздействии большинства агрессивных сред, не разрушающих сам материал маркируемой детали.

Программное обеспечение позволит при нанесении маркировки вносить маркировку в базу учета бухгалтерии и проводить контроль за выдачей авиационно-технического имущества с учетом сроков изготовления на складах всех уровней хранения.

Каждому выпускаемому промышленностью изделию должно быть присвоено самостоятельное обозначение, имеющее определенную структуру.

Таким образом, дополнительное введение классификаторов позволит проконтролировать движение А и ЗЧ на участке от выпуска на заводе-изготовителе до установки их на ВС, снятие с ВС по списанию или при отправке на авиационный ремонтный завод и поступление на обеспечение ВКС РФ после производства ремонта, осуществлять проверку наличия маркировки на А и ЗЧ непосредственно на ВС, тем самым исключить случаи хищения дорогостоящего имущества и (или) установки контра-фактных изделий.

## **СЕКЦИЯ № 50. Экология, безопасность полётов и жизнедеятельности в авиации и космонавтике**

Руководитель секции: д.т.н., профессор Дмитренко В.П.,  
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации

---

### **Обеспечение акустической безопасности при эксплуатации систем защиты воздушной среды транспортных объектов**

Аверьякина М.А.

Научный руководитель – Сотникова Е.В.

МГМУ (МАМИ), г. Москва

Одним из негативных факторов при функционировании автотранспортного комплекса (АТК) является шум, создающий акустический дискомфорт. Специфическим источником шума является система защиты воздушной среды на рабочем месте операторов мобильных объектов, функциональным назначением которой является обеспечение требуемых параметров микроклимата при приемлемых акустических показателях.

Для помещений относительно небольшого объема, в том числе для кабин мобильных машин, где требуется подача воздуха менее 1,6 тыс. м<sup>3</sup>/ч, в России разработана система типизированных и унифицированных средств (СНМ), использующих метод блочно-модульного построения агрегатов для обработки приточного воздуха.

- Основой построения блоков СНМ являются следующие модули:
- воздушный фильтр;
- вентиляторный агрегат;
- несущая камера выравнивания статического давления;
- жидкостно-воздушный теплообменник отопителя;
- аппарат адиабатного водоиспарительного охлаждения;
- теплообменник испарителя хладонового кондиционера.

Системы защиты воздушной среды при работе создают аэродинамический и механический шум. Аэродинамический является следствием функционирования вентиляторов и обуславливается движением потока воздуха. Механический шум возникает в самих вентиляторах вследствие ударов в подшипниках, приводах из-за плохой балансировки.

На первый план ставится задача по снижению шума в источнике его возникновения, т.е. в самом вентиляторе. Поскольку энергию воздуху в вентиляторе сообщает рабочее колесо, то его конструкция и размеры обуславливают аэродинамические, акустические характеристики и габариты агрегата в целом. При выборе рационального диаметра колеса и других его параметров при указанной частоте вращения в качестве прототипа был принят вентилятор автомобильного кондиционера, колесо которого имеет диаметр  $D_k = 0,113\text{ м}$ , загнутые вперед радиальные лопадки и ориентированное на применение электродвигателя с номинальной частотой вращения 3000 мин<sup>-1</sup>. На основе этого в итоге создан базовый модуль колеса одностороннего всасывания

модификаций левого и правого вращения, при сложении которых торцами можно получить сдвоенное колесо двухстороннего всасывания.

Контрольные замеры эквивалентного уровня звука блока с тремя вентиляторами проведенные в акустической камере НАТИ, показали, что его значение составило 70 дБА, что является удовлетворительным.

Указанный блок СНМ обладает удовлетворительной акустической характеристикой, так как на частоте 1000Гц уровень звука меньше нормируемого значения по крайней мере на 8дБ, а в остальных октавных частотах разница еще более существенна. Следовательно, в нашем случае применение созданных акустических малогабаритных вентиляторов и защита от шума блока кондиционирования воздуха самоходных машин могут быть признаны достаточно совершенными.

### **Комплексная оценка уровня физической подготовленности в общекосмической подготовке космонавтов и лётчиков дальней авиации**

Алексеева В.Д., Воронокова М.А.  
Научный руководитель – Боброва О.М.  
МАИ, Ступинский филиал

Успешное осуществление тренировочных занятий во многом зависит от правильного контроля за динамикой подготовленности тренирующихся, естественна и закономерна увеличивающаяся тенденция объективности методов контроля, в том числе индивидуальное состояние тренированности. Широкое распространение получили контрольные пробы (тесты), с помощью которых определяется состояние тренированности, уровень развития физических качеств и других показателей.

Условное тестирование может быть разделено на два самостоятельных направления:

- тестирование физических качеств (сила, быстрота, выносливость, гибкость, ловкость и т.д.);
- тестирование специальных профессиональных качеств, необходимых космонавтам и летчикам, целью которых является повышение устойчивости организма к факторам предстоящей работы, тем или иным перегрузкам организма.

Для моделирования перегрузок используется специальная быстровращающаяся центрифуга. Этот вид тренировок очень важен: на спуске космонавт подвергается воздействию перегрузок, особо ощутимых после длительного пребывания в невесомости.

Вестибулярная тренировка – подготовка к пребыванию в невесомости

Барокамера используется для создания искусственной атмосферы, параметры которой могут заметно меняться в случае каких-либо внештатных ситуаций.

В термокамере проводится проверка устойчивости кандидата в космонавта к воздействию высоких температур.

Сурдокамера используется для пребывания в замкнутом помещении при осознании полной оторванности от Земли, т.е. серьезная психическая нагрузка, которая усугубляет постоянное ожидание опасности.

На тренажерах и стендах формируется «образ полета», максимально приближенный к реальной обстановке, которая требует ответных действий от кандидата. Применяющиеся в процессе подготовки технические средства разделяют на две группы:

- стенды и устройства, на которых моделируются всевозможные факторы космического полета (перегрузки, невесомость, пониженное давление и т.д.) – самолеты-лаборатории, гидролаборатории, гимнастические снаряды;
- тренажеры и стенды для отработки навыков управления оборудованием корабля на всех этапах полета.

В заключение отметим о необходимости комплексной оценки значения тестов в общефизической подготовке, о тестировании специальных профессиональных качествах, а также отработке навыков управления оборудования корабля на всех этапах полета: единственный способ выживания человека в экстремальных условиях – нейтрализовать основные неблагоприятные факторы внешней среды. Для сохранения нормального рабочего состояния экипажа и избежания отрицательного влияния экстремальных условий, разработаны специальные комплексы и оценки уровня физической подготовки и специальных профессиональных качеств. Все это в совокупности делает полет экипажа более безопасным для жизнеобеспечения человека.

### **Загрязнение околоземного космического пространства – угрожающий фактор антропогенного воздействия на биосферу**

Алпаткина Ю.О., Морев А.О., Юшкова А.В.

Научный руководитель – Метечко Л.Б.

МАИ, г. Москва

К началу XXI в. околоземное космическое пространство (ОКП) стало значительным фактором научного, общественного, коммерческого использования. ОКП представляет собой зону расширения экологической ниши человеческой цивилизации вследствие ее неизбежного техногенного развития, что является одним из путей ухода от угрозы глобального экологического кризиса.

Весьма важным параметром, характеризующим общее состояние ОКП, является его загрязнение космическим мусором техногенного происхождения. Возникает проблема: освоение космоса становится не безопасно для жителей Земли.

Современная цивилизация достигла такого уровня антропогенного воздействия на ближний космос, какого не испытывает ни одна другая среда: ни гидросфера, ни литосфера, ни приземная атмосфера. Освоение этой среды ведется самыми мощными современными средствами. Но околоземное пространство имеет на много порядков меньше, чем биосфера связей, обеспечивающих его устойчивость.

Проблему техногенных отходов в ОКП можно рассматривать как с точки зрения экологии космоса, так и исходя из вопросов воздействия этих отходов на земную природу с точки зрения экологии биосферы.

Сравнивать засорение Земли и космоса можно только до определенных пределов. Есть мусор, который как бы самоуничтожается: пищевые отходы на

Земле и низколетящие спутники в космосе. Есть и долгоживущий мусор: некоторые синтетические материалы на Земле и геостационарные объекты в космосе. Но проблема становится зловещей, когда узнаешь, что космический мусор в отличие от земного может «размножаться». По данным специалистов НАСА, мусора на орбите стало настолько много, что его количество перешло в новое качество.

Наука в освоении космоса сделала пока еще первые шаги, но ее развитие весьма стремительно. Никакая техника не развивается так быстро, как космическая. Человечество уже многое умеет делать, но освоение космоса потребует еще больших усилий мысли и огромных затрат.

Поэтому, в наше время мировое сообщество должно проникнуться идеей о единстве мира, в котором мы живем. И космос должен быть символом сотрудничества.

В настоящее время только две страны - Россия и США имеют возможность и отслеживают всё околоземное космическое пространство в плане техногенного засорения. Но для сдерживания этого опасного процесса требуется безотлагательная работа, и принятие специальных мер всеми участвующими в освоении космоса государствами.

Как известно, избавиться от загрязнения окружающей среды гораздо сложнее, чем предотвратить его загрязнение.

### **Связь гидрологического режима территории с формами атмосферной циркуляции**

Андронников В.В., Кириллов Н.А.  
Научный руководитель – Савченко П.Д.  
ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

Наличие циркуляционных эпох и их принципиальные отличия друг от друга требуют пересмотра ряда методических вопросов, относящихся к климатологии и гидрометеорологии. Прежде всего это вопрос о нормах, длительности ряда наблюдений, необходимого для построения норм, о соотношении нормальной и действительной картин общей циркуляции атмосферы, соотношении многолетних норм и норм для отдельных эпох.

Для построения норм необходим ряд такой длительности, в котором встречалось бы одинаковое число циркуляционных эпох различных форм циркуляции. Наличие циркуляционных эпох позволяет также по новому подойти к вопросу об устойчивости разного рода прогностических связей во времени. Это особенно характерно для связей, установленных с помощью различных статистических приемов (вычисление коэффициентов корреляции, построение уравнений регрессии и др.). Прогностические связи, установленные по данным одной циркуляционной эпохи, нельзя механически распространять на другие эпохи.

По характеру преобладающих синоптических процессов были выделены три формы атмосферной циркуляции: западная W, восточная E и меридиональная C.

Развитие и преобразование форм атмосферной циркуляции E, W и C связано с перераспределением воздушных масс, изменением их локализации. В это время основная форма эпохи проявляется в виде каких-то определенных

разновидностей. При смене стадий меняется и характер проявления основной формы циркуляции.

Рассматривая водность половодья по эпохам преобладающих форм атмосферной циркуляции, можно видеть, что значения основных статистических параметров кривой вероятности превышения не равны между собой. Здесь можно также отметить, что влияние типов атмосферной циркуляции на водность половодья проявляется не однозначно на территории Центральной Черноземной области (ЦЧО).

В качестве показателя водности в период половодья использовался модульный коэффициент водности, который широко используется при гидрологических расчетах.

Так, например, в эпоху западного типа атмосферной циркуляции на западе территории ЦЧО водность половодий на реках составляет 0,95-1,0. Затем, по мере продвижения к восточным границам, она возрастает до 1,2.

Следовательно, можно сказать, что при преобладании западного переноса воздушных масс наблюдается повышение водности половодья в восточных районах исследуемой территории, в то время как в западных районах наблюдается даже ее незначительное снижение.

Таким образом, определенные формы преобладающей атмосферной циркуляции не только обуславливают различную водность половодья рек, протекающих в ЦЧО, но и по разному проявляется это влияние в различных районах исследуемой территории. Поэтому при выборе расчетного периода для установления статистических параметров кривой вероятности превышения стокowych характеристик необходимо учитывать наблюдаемую цикличность преобладающих форм атмосферной циркуляции.

### **Выбор альтернативных вариантов на этапе проектирования с учётом экологических аспектов**

Асоскова М.Е.

Научный руководитель – Графкина М.В.  
МГМУ (МАМИ), г. Москва

Обычно оценка негативного воздействия на окружающую среду любой создаваемой технической продукции проходит на этапе испытания прототипа, т.е. на той стадии проектирования, когда все главные технические решения уже приняты. Современные подходы к экологическому проектированию предполагают оценивание альтернативных вариантов на всех этапах проектирования: планирование; концептуальное проектирование; детальное проектирование; испытание прототипа; запуск рынка; анализ продукции.

Интегрирование экологических аспектов в проектирование позволяет из нескольких вариантов технической продукции, удовлетворяющей предъявляемым требованиям, оценить и выбрать вариант не только лучше всего отвечающий функциональным и экономическим требованиям, но и с лучшими экологическими аспектами в жизненном цикле. На наш взгляд на этапе проектирования прежде всего нужно оценивать экологические характеристики материалов выбор которых проходит на этапе структурного синтеза проектируемой технической продукции. Для минимизации негативного

воздействия на окружающую среду ориентироваться при этом нужно прежде всего на:

- применение конструкционных материалов с низким уровнем воздействием на окружающую среду в полном жизненном цикле;
- повышение экологической эффективности использования материалов (снижение массы использованных материалов в продукции, наиболее полная переработка материала, возможность применения рециклированных материалов и др.).

Автором проведено сравнение экологических аспектов жизненного цикла двух видов стекла сталинита и триплекс, которые чаще всего используются в качестве лобового и боковых стекол транспортного средства (автомобиля). Получены результаты сравнительной оценки некоторых эксплуатационных характеристик. Основное отличие применяемых материалов – это различие в массе стекла и уровне шумоизоляции при той же толщине конструкции. Сталинит превосходит триплекс по показателям шумоизоляции (при толщине конструкции в 8 мм уровень шумоизоляции у сталинита 37 дБ у триплекса -32 дБ).

Проанализированы экологические проблемы на этапах производства, сборки, эксплуатации и рециклинга. Выявлено, что при производстве и рециклинге триплекса экологические аспекты будут также связаны с экологическими аспектами винила, который является промежуточным слоем в конструкции стекла.

Сформулирована экологические требования к «идеальному стеклу»: повышение экологичности как на «входе» в производционную систему – это снижение потребления материальных и энергетических ресурсов, так и на «выходе» из системы – снижение выбросов, сбросов, твердых отходов, тепловых и других энергетических загрязнений окружающей среды, как при производстве стекольной массы и конечной продукции, так и при более полной переработке после окончания срока службы. Для обеспечения экологической эффективности на этапах производства потребуются модернизация технологических процессов с использованием наилучших доступных технологий. При этом конечно основным требованием остается обеспечение безопасности водителя и пассажиров в случае нештатной аварийной ситуации.

### **Экологическая безопасность ракетно-космической деятельности - новая отрасль науки и техники**

Бабаева О.В.

Научный руководитель – Герашенко С.А.

МАИ, г. Москва

Одна из важнейших задач современного общества – сохранение безопасной окружающей среды. Этой теме посвящены глубокие научные исследования и проекты, охватывающие различные направления развития человечества. Естественно, что ракетно-космическая отрасль, являющаяся одной из наиболее наукоемких, динамично развивающихся направлений, определяющая уровень национальной безопасности и качество жизни граждан промышленно развитых стран, привлекает к себе огромное внимание. Проводятся международные

симпозиумы и конференции, ставящие своей целью консолидацию усилий по обеспечению безопасности космических полетов, основываясь на достижениях современной науки и возможностях новых технологий.

Интенсивное освоение космического пространства может привести к весьма ощутимым техногенным воздействиям на окружающую среду. И, хотя, воздействие ракетно-космической техники (РКТ) на окружающую среду в общей массе техногенного воздействия составляет доли процентов, но существует ряд экологических проблем, которые требуют особого внимания и контроля.

Законодательство России, федеральные и ведомственные нормативные документы требуют полного и объективного рассмотрения вопросов обеспечения экологической безопасности в процессе создания и эксплуатации РКТ. Основополагающим документом в области освоения космоса является Закон РФ от 20.08.1993 N 5663-1 «О космической деятельности». В свою очередь, в части обеспечения безопасности использования РКТ, основным нормативным актом является ГОСТ Р 52985-2008. Экологическая безопасность ракетно-космической техники. Общие технические требования с 1 июля 2009 года введены в действие Национальный стандарт РФ «Экологическая безопасность РКТ» (разработан ЦНИИмаш) и Национальный стандарт РФ по «космическому мусору».

С 2015 года ведущую роль в области обеспечении экологической безопасности при использовании РКТ играет ЦНИИмаш, где сформирован специальный раздел исследований института по этому направлению – «Исследование проблем обеспечения экологической безопасности при создании РКТ и в районах ее эксплуатации». В соответствии с требованиями международных и национальных законодательных актов разрабатываются научно-информационные и программно-методические материалы по обеспечению экологической безопасности при создании, производстве, испытаниях и эксплуатации РКТ, ведется работа по созданию программно-методического обеспечения для оценки воздействия вредных веществ на окружающую среду при эксплуатации нашей техники.

В этих работах участвуют многие организации – Гидрометцентр РФ, химфак и геофак МГУ им. Ломоносова, НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды РАМН, Центр эксплуатации наземной космической инфраструктуры, ОАО «ВПК НПОмаш», Омский технический университет, ГКНПЦ им. Хруничева, ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс».

Таким образом, экологическая безопасность РКД характеризуются наличием конкретного предмета исследований и сферы интересов ученых, организационных форм их кооперации, научной периодики и других изданий, системы подготовки кадров соответствующего профиля. В последнем случае особо стоит отметить учебно-методическое пособие д.т.н. Шатров Я.Т. Обеспечение экологической безопасности РКД.

## **Применение сухой градирни с целью рационального использования водных ресурсов**

Бакаева А.А., Смирнова А.А.

Научный руководитель – Фетисов А.Г.

МАИ, г. Москва

В последнее время истощение водных ресурсов на Земле стало одной из глобальных проблем. Для производства электроэнергии и тепла значительное количество воды, идущего на охлаждение оборудования. До недавнего времени для этой цели широко применялись мокрые градирни.

С целью снижения потребления воды необходимо внедрять новые технологии. Так, например, на некоторых ТЭЦ используют «сухую» вентиляторную градирню (устройство для охлаждения большого количества воды направленным потоком атмосферного воздуха) которая позволяет уменьшить забор воды из водных объектов и исключить ее испарение.

Основные преимущества использования сухих градирен перед мокрыми градирнями:

- существенная экономия электрической энергии (энергия расходуется только на привод вентиляторов, а в холодное время года экономия увеличивается за счет частичного отключения вентиляторной системы);
- не существует расхода воды из-за применения закрытого контура большой расход воды;
- большой выбор охлаждаемых жидкостей (вода, масло, водные растворы) – в мокрой только вода;
- не увеличивает процент влажности – высокий процент испарений;
- возможность использования в холодную погоду любого антифриза;
- при необходимости возможна установка новых блоков к уже существующим.

При применении градирни (как сухой, так и мокрой) к минусам относится невозможность охлаждения рабочего вещества до состояния ниже температуры окружающей среды. Из-за этого фактора область их использования несколько ниже. В летний период, при повышенных температурах, эффективность снижается.

К существенному недостатку относится применение сухой градирни в холодное время года, так как повышается вероятность замерзания жидкости в трубах во время простоя. Поэтому чтобы этого не происходило, на ТЭЦ используется пар собственных нужд, увеличивая расход воды, что является нерациональным использованием природных ресурсов.

Предлагается для оптимизации работы градирни и уменьшения расхода воды, предотвращение поступление холодного воздуха к оборудованию, расположенного в открытом доступе у основания градирен. На зимнее время с помощью передвижных ставен следует устанавливать стенки, ограждающие градирню. Такой механизм позволит в зависимости от погодных условий и необходимости технического обслуживания оборудования обеспечить мобильность сухой градирни.

## **Особенности воздействия космического ионизирующего излучения на организм человека при полете на Марс**

Балкен Д.Б., Нягулов М.Р.

Научный руководитель – Чичиндаев А.В.

НГТУ, г. Новосибирск

В связи с перспективой пилотируемых полетов на Марс актуальной становится задача биологической индикации предполагаемой трассы полета и условий на Марсе с позиции разработки необходимых систем обеспечения жизнедеятельности экипажа (СОЖ). Проведенный анализ показал, что одним из наиболее биологически значимых факторов окружающей среды в решении настоящей задачи является ионизирующее излучение.

При воздействии радиации происходит ионизация биохимических соединений в клетках, вследствие чего нарушаются их жизненные функции вплоть до гибели. В свою очередь гибель клеток ведет к расстройству функции органов и систем. Степень повреждений, наносимых радиацией человеку, зависит от удельной энергии потока элементарных частиц радиации и от времени воздействия радиационного излучения. Наибольшую опасность представляют альфа частицы и ядра химических элементов, далее следуют протоны и нейтроны, и наименее слабое влияние оказывают рентгеновское и гамма- излучения, электроны и позитроны (коэффициент качества – 20, 10 и 1 соответственно).

Целью настоящей работы является анализ биологической значимости интенсивности ионизирующего излучения применительно к трассе полета и на поверхности Марса, а также сравнительная количественная оценка данного фактора на примере высотного излучения в атмосфере Земли.

При длительных космических полетах в межпланетном пространстве радиационная опасность обусловлена совместным действием галактического и солнечного космических излучений (ГКИ и СКИ). *Галактическое излучение* обладает совокупной мощностью излучения в диапазоне 0,01...0,1 Р/ч, что формирует годовую дозу облучения 0,5... 5 Зв/год. Большие значения приходится на годы минимальной солнечной активности, когда ГКИ «глубже» проникает в Солнечную систему. *Солнечное космическое излучение* создаёт мощность излучения в диапазоне 0,001 ... 1 Р/ч и суммарную дозу облучения в диапазоне 0,1 ... 50 Зв/год. Столь широкий диапазон зависит от двух обстоятельств: расстояния от Солнца (чем дальше радиус орбиты, тем ниже плотность и мощность ионизирующего излучения) и состава «солнечного ветра».

Оценки доз ионизирующего излучения по трассе полёта Земля – Марс – Земля показывают, что за весь период полёта длительностью 2...3 года дозы облучения человека могут составить 5...50 Зв. Такие значения соответствуют смертельно опасному уровню воздействия на организм. Поэтому важнейшим элементом системы жизнеобеспечения для данного полёта должна быть мощная многократная радиационная защита пилотируемого модуля космического аппарата.

В работе приведены результаты анализа влияния космического ионизирующего излучения на человека. В заключении выполнено сравнение

космического излучения с высотным ионизирующим излучением, воздействующим на летный персонал. Выявлены общие закономерности влияния повышенного или пониженного ионизирующего излучения на организм человека, которые позволяют проводить исследование особенностей систем защиты от радиации при длительных космических полетах.

### **Влияние глобального потепления на здоровье людей**

Бар-Гнар А.И., Рубежанская А.В.

Научный руководитель – Черткин А.Г.

МАИ, г. Москва

На сегодняшний день здоровье человека подвергается большому риску из-за плохой экологии, неправильного образа жизни. Но редко кто поднимает вопрос о влиянии глобального потепления на физиологическое состояние людей.

Одной из причин, влияющих на глобальное потепление, является вырубка лесов. Другой причиной является результат хозяйственной деятельности человека.

Но наиболее существенными, на взгляд авторов, являются: изменение светимости Солнца и крупные вулканические извержения. Когда эти факторы накладываются друг на друга, наступают периоды похолодания.

Однако, с 20 века к природным факторам подключилось антропогенное влияние, стал усиливаться парниковый эффект, началось увеличение температуры.

С древних времен существуют различные инфекционные заболевания, которые приводят к эпидемиям. Авторы считают, что глобальное потепление влечет за собой увеличение распространения некоторых заболеваний. И хотя связь климата со здоровьем человека до сих пор в целом не установлена, повышение температур усилит заболеваемость, например, малярией.

Малярия- группа трансмиссивных инфекционных заболеваний, передаваемых человеку при укусах комаров рода *Anopheles* («малярийных комаров») и сопровождающихся лихорадкой, ознобами, спленомегалией (увеличением размеров селезёнки), гепатомегалией (увеличением размеров печени), анемией. Возбудителем является микроб Плазмодий. Ежегодно фиксируется 350–500 миллионов случаев заражения людей малярией, из них 1,3–3 миллиона заканчиваются смертью. Малярийные комары живут почти во всех климатических зонах, за исключением субарктического, арктического поясов и пустынь. Однако для того, чтобы существовал риск заражения малярией, требуются, помимо малярийных комаров, условия для быстрого размножения их и переноса малярийного плазмодия. Насекомые, передающие эту болезнь, могут существовать при определенных температурах. Если в северных районах станет теплее, насекомые смогут туда перебраться. То же самое с клещевым энцефалитом. Существует список еще некоторых заболеваний, на которые потепление благотворно влияет. Соответственно риск заболеваемости человека при глобальном потеплении значительно повышается.

После всего вышесказанного, авторы пришли к выводу о том, что для улучшения жизни и обеспечения безопасности своего здоровья люди должны, для начала, снизить антропогенное воздействие, техногенное влияние на

окружающую среду, чтобы тем самым не стимулировать повышение температур.

## **Актуальные вопросы экологического воздействия ракетного топлива на окружающую среду**

Беляева Н.В.

Научный руководитель – Воробьева С.С.

МАИ, г. Москва

В современном мире ракетно-космическая техника (РКТ) играет колоссальную роль, выполняя ряд различных функций на пользу человечества, но в то же время, одним из отрицательных моментов является воздействие РКТ на экологию окружающей среды.

Экологическая безопасность Земли является актуальной проблемой в современном обществе. Государство начинает всё больше следить и контролировать защиту окружающей среды в сфере ракетно-космической деятельности, инструментом их контроля являются нормативно-технические документы, такие как:

- ГОСТ Р 52985-2008. Экологическая безопасность ракетно-космической техники. Общие технические требования.
- ГОСТ Р 52925-2008. Изделия космической техники. Общие требования к космическим средствам по ограничению техногенного засорения околоземного космического пространства.

Одним из определяющих моментов в сфере обеспечения экологической безопасности на всех стадиях производства и эксплуатации изделий РКТ является применение экологически чистого ракетного топлива. Вопросы использования жидкого ракетного топлива затрагивают множество процессов, среди которых можно выделить основные: производство топлива; испытания на огневых стендах; транспортировка до места пуска ракеты-носителя; подготовка к пуску - заправка баков; очистка районов падения ступеней; работа в космическом пространстве и осажение продуктов сгорания на скафандрах и элементах космической станции. При использовании токсичных компонентов каждый из этих процессов добавляет дополнительные материальные, временные и технические затраты для обеспечения экологической безопасности.

Влияние, как самого ракетного топлива, так и продуктов его сгорания и утилизации специфично для каждой из зон воздействия. В докладе рассматриваются основные зоны, наиболее подверженные такому влиянию:

- земная поверхность,
- поверхностные и грунтовые воды,
- растительность и живые организмы,
- атмосфера, включая озоновый слой,
- околоземное космическое пространство.

Помимо непосредственного воздействия на окружающую среду, существует вопрос по технологии получения или добычи топлива, который является определяющим в формировании стоимости топлива.

В работе рассматривается специфика применения экологически чистых компонентов ракетного топлива, а именно: кислород-водород, кислород-

керосин, кислород-метан. Также в работе помимо экологических параметров проведен анализ эксплуатационных и энергетических характеристик жидкостных ракетных топлив, таких как: плотность; теоретический удельный импульс; охлаждающая способность компонента; низкая вязкость в эксплуатационных условиях и низкая температура; взрывобезопасность при длительном хранении, транспортировке и перекачке; низкая токсичность; высокая химическая стабильность при длительном хранении.

### **Разработка технического обеспечения спуска неподготовленной пробы крови с борта МКС на Землю для проведения медико-биологических исследований**

Боярский Г.Г.

Научные руководители – Пичулин В.С., Васильева Г.Ю.

ГНЦ РФ ИМБП РАН, МАИ, г. Москва

На данный момент не существует технологии доставки проб крови, взятых на борту МКС на Землю, без использования специальных методов их обработки и консервирования. При этом некоторые показатели, характеризующие метаболические процессы и иммунный статус организма человека требуют проведения анализа именно свежей крови. Соответственно, для данных исследований необходимо обеспечить спуск проб крови без возможных нарушений ее показателей под действием перегрузок, вибрации и повышенной температуры окружающей среды.

Таким образом, выделим то внешнее воздействие, которое может негативно влиять на пригодность к использованию пробы крови:

- Вибрация, с частотами от 50Гц-2000Гц. С различной плотностью распределения спектра.
- Высокие перегрузки на этапе спуска и приземления.
- Температурное воздействие, на этапе входа в плотные слои атмосферы.

Задача является инженерно-биологической, так как происходит взаимодействие биологической и технической составляющей.

На первом этапе, для оценки реального действия вибрации, как главного воздействующего фактора, на базе ГНЦ РФ ИМБП РАН были исследованы биохимические показатели (AST, ALT, LDH, общий белок и др.), а так же показатели иммунологического статуса здоровых добровольцев. При воздействии вибрации на пробы крови было отмечено изменение концентраций некоторых из проанализированных показателей. На основе математической модели вибрационных воздействий на пробы крови, есть основания полагать, что необходима изоляция биологической пробы от внешних воздействий на этапе спуска с орбиты.

В соответствии с этими требованиями была спроектирована капсула, имеющая следующие технические особенности:

- Демпфирование наиболее опасных для крови частот вибрации.
- Блокирование ударных нагрузок посредством второго комплекса демпферов, располагающихся вне основной капсулы.
- Система ориентации емкостей во время спуска.

- Удобная и простая система закрытия-открытия контейнера, обеспечивающая безопасность для окружающих и сохранность пробы.
- Специально разработанная система размещения контейнера на борту спускаемого аппарата «Союз».
- Возможность размещения внутри капсулы активных охлаждающих элементов.

На данном этапе работы трехмерная модель капсулы подготавливается к анализу в программной среде MathLab, для воспроизведения поведения объекта в реальных условиях. По результатам этого исследования будет принято решение по изменению параметров жесткости демпферов, материалов капсулы и мощности охлаждающего элемента.

### **Разработка методологии экологического мониторинга сопредельных сред с использованием методов нейросетевого моделирования**

Валеева А.Р.

Научный руководитель – Мухаметшина Е.С.  
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

Целью является создание системы прогнозирования уровня загрязняющих металлов в снежном покрове, почве и растениях в зависимости от среднего поступления пыли и снега в городе Казань.

Для выполнения этой задачи наиболее подходящим решением является использование искусственной нейронной сети типа многослойный перцептрон. Однако исследователи не располагают соответствующими экспериментальными данными для обучения такой сети. Имеющиеся данные включают: 1. Поступление пыли и снега – содержание металлов в снежном покрове; 2. Содержание металлов в снежном покрове- содержание металлов в почве и растениях.

Поэтому был создан, нейросетевой каскад. В этом каскаде для каждого уровня строятся свои нейронные сети, которые обучаются отдельно по имеющимся данным, а затем объединяются и используются совместно.

Таким образом, создание нейросетевого каскада состоит из трех этапов:

- Создание и обучение нейронной сети для расчета содержания каждого металла в снежном покрове в зависимости от поступления снега и пыли.
- Создание и обучение нейронной сети для прогнозирования содержания металлов в почве и растениях в зависимости от их содержания в снежном покрове.
- Объединение двух нейронных сетей, спроектированных на предыдущих этапах, в каскад - создание каскадной нейронной сети для прогнозирования содержания металлов в почве и растениях в зависимости от поступления снега и пыли.

Для создания каскада используются уже готовые обученные сети. Объединение сетей в каскад возможно, так как число выходов первой сети совпадает с числом входов второй. Характеристики сети можно оценить опосредованно через характеристики сетей, объединенных в каскад:

- Производительность первой сети: 0, 93. Производительность второй сети: 0,50. Средняя производительность каскада – 0,715.
- Среднее значение ошибки для первой сети 4,175%. Среднее значение ошибки для второй сети 5,535%. Среднее значение ошибки для каскада: 4,855%.
- Средняя корреляция для первой сети 0,58. Средняя корреляция для второй сети 0,565. Корреляция для каскада: 0,5725.
- Нейросетевым каскадом обработаны результаты измерений по указанным параметрам.
- Отдельное тестирование первого и второго уровня показало среднюю ошибку для первого уровня, равную 7%, и для второго уровня – 19%.

Апробация нейросетевого каскада: нами использованы данные не только о входных (поступление снега и пыли) и выходных (содержания металлов в почве и растениях) значениях переменных, но и о промежуточных значениях вычислений в каскаде (содержание металлов в снежном покрове). Поэтому мы оценивали точность не только каскада в целом, но и каждого этапа вычислений в отдельности. Кроме того, стало возможным определить «проблемный» уровень каскада – уровень, наибольшим образом влияющий на результирующую ошибку прогноза

Таким образом, нами разработана технология получения мониторинговой информации по доступным статданным на основе нейросетевых технологий, позволяющая определять содержание металлов в снежном, почвенном покровах и растительности.

## **Техносферная опасность мегаполиса для здоровья человека**

Васькова Е.А.

Научный руководитель – Чверткин А.Г.

МАИ, г. Москва

Всю историю своего существования человек постоянно создает что-то новое, совершенствует старое, тем самым, упрощая себе жизнь, делая ее более комфортной. Казалось бы, это должно облегчать жизнь индивида, но все идет к тому, что человек только усложняет ее. С увеличением техники и различных благ, созданных руками человека, страдает не только природа нашей планеты, но и сам человек, потому что он ее часть. Старые заболевания мутируют, появляются новые, количество раковых больных увеличивается, озоновый слой разрушается. В XXI веке человечество ставит себя перед угрозой самоуничтожения своим нежеланием отказываться от так называемого «комфортного существования».

Основными источниками опасности для человека, проживающего в мегаполисе, можно выделить следующие. Первый - общественный транспорт, в котором человек проводит большую часть своего времени. Данный объект можно разделить на транспорт, перемещающийся под действием тока, и транспорт, перемещающийся за счет бензина. И в первом и во втором случае основной источник вреда для человека – превышающие нормы шум и вибрация. Для первого случая - это электромагнитные поля, а для метро еще и пыль. Возможные заболевания: вибрационная болезнь, гипертонические заболевания,

ишемическая болезнь сердца, тугоухость, потеря сна, сердечно-сосудистые заболевания, рак легких. Еще одним источником опасности для здоровья человека являются заводы химической, нефтеперерабатывающей промышленности, а также котельные. Выбрасывая огромное количество вредных веществ, они пагубно влияют на экологическое состояние планеты и, как следствие, на здоровье человека. Медики устанавливают прямую связь между ростом числа людей, болеющих аллергией, бронхиальной астмой, развитием раковых клеток и количеством загрязняющих веществ в природной среде.

В наше время почти у каждого в квартире или в доме стоят пластиковые окна: они несут в себе практичность и экономичность. Но есть один фактор, который заставляет задуматься над целесообразностью их использования. Многие пластиковые изделия, в том числе окна, изготовлены из поливинилхлорида – опасного яда, способного разрушать нервную систему и вызывать раковые заболевания, при повышении температуры вред увеличивается. А при пожаре – выделяется аналог боевого отравляющего газа – фосген.

Проанализировав результаты работы, проделанной автором, можно заключить, что техносфера, которой окружен человек в мегаполисе, с одной стороны приносит пользу в плане комфорта, но с другой стороны, не сочетаясь с природной средой, наносит огромный вред всему живому. То есть в окружающей нас среде необходимо использование только тех материалов, которые способны легко синтезироваться или же сочетаться с окружающей средой. Иначе человек получает разные виды заболеваний. И что бы люди ни изобретали, находится какой-нибудь элемент, который нанесет вред сначала окружающей среде, а потом и человеку. Все взаимосвязано в природе, и человек сам является неотъемлемой частью природы, и должен жить с ней в гармонии.

### **Повышение эффективности управления охраной окружающей среды на промышленных предприятиях**

Варданян Е.С., Виничук Т.А.

Научный руководитель – Фетисов А.Г.

МАИ, г. Москва

Любая хозяйственная деятельность того или иного предприятия, вне зависимости от вида деятельности, так или иначе, негативно влияет на окружающую среду (ОС). Загрязнение природы различными токсичными веществами не может не отразиться как на состоянии самой среды, так и на живых организмах, обитающих в ней.

Для оценки и выявления характера загрязнения от промышленного объекта применяются процедуры ОВОС, которые включают в себя поэтапные действия, в ходе которых эксперты в данной области выявляют характер опасностей негативного воздействия, на основании которых предлагаются те или иные природоохранные мероприятия.

С целью снижения различного рода негативного воздействия устанавливают нормативы качества окружающей среды (ПДК загрязняющего вещества, ПДУ и др.) и нормативы воздействия на ОС (ПДВ, ПДС и др.).

Для защиты ОС, а также для стабильности и сохранности природных объектов предлагается внедрить обязательность для каждого предприятия того или иного вида деятельности, которая, несомненно, окажет негативное воздействие на ОС, выплачивать в соответствующем размере денежную компенсацию для стабильного поддержания определенных охраняемых объектов на различных уровнях значимости.

Для компенсации негативного воздействия на ОС, предприятия вносят плату за загрязнение атмосферного воздуха, водных объектов и размещение отходов.

В соответствии с положениями Федерального закона от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» объекты, оказывающие негативное влияние на ОС, подразделяются на четыре категории:

- объекты I категории - значительное негативное воздействие на ОС и относящиеся к областям применения наилучших доступных технологий;
- объекты II категории - объекты, оказывающие умеренное негативное воздействие на ОС;
- объекты III категории - объекты, оказывающие незначительное негативное воздействие на ОС;
- объекты IV категории - объекты, оказывающие минимальное негативное воздействие на ОС.

Категории будут учитываться при расчете платы за негативное воздействие на ОС, причем владельцев некоторых предприятий могут освободить от обязанности ее внесения. Следовательно, от категории предприятия будет зависеть необходимость получать специальное комплексное экологическое разрешение для ведения деятельности.

Одним из основных направлений государственного регулирования охраны ОС является стимулирование предпринимателей к переходу на более экологичное производство. Это может выражаться в содействии в осуществлении инвестиционной деятельности, направленной на внедрение наилучших доступных технологий и реализацию иных мер по снижению негативного воздействия на ОС. Применяющим такие технологии промышленным предприятиям могут быть предоставлены налоговые льготы, льготы в отношении платы за негативное воздействие на ОС, либо выделены бюджетные средства.

## **Прогноз экстремальных отрицательных температур в зимний период**

Веремьев Н.А.

Научный руководитель – Маслобойщиков А.Н.  
ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

Стихийные бедствия гидрометеорологического происхождения вызывают катастрофические последствия, связанные с большим экономическим ущербом и нарушением нормальной человеческой деятельности.

В число задач, которые помогут уменьшить опасность стихийных бедствий, входят активизация научно-технической деятельности, направленной на ликвидацию пробелов в знаниях природы явлений, приводящих к бедствиям,

и распространение имеющего опыта по их прогнозированию и предупреждению.

В настоящей статье представлены некоторые результаты исследования по вопросу прогнозирования экстремальных значений отрицательных температур ( $-30^{\circ}\text{C}$  и менее) у поверхности Земли, приносящих стихийные бедствия в зимний период на Европейскую территорию России.

Актуальность исследования связана с необходимостью своевременно разрабатывать прогноз опасных и особо опасных явлений погоды, а также заблаговременно выдавать различным потребителям предупреждения о их появлении и интенсивности.

Целью проводимых работ в данном направлении, является поиск путей решения в задачах прогнозирования метеорологических условий, приводящих к катастрофическим стихийным бедствиям.

Наиболее типичная синоптическая ситуация появления данного метеорологического явления связана с наличием высокого холодного антициклона. На первом этапе рассматривается основной индивидуальный физико-географический фактор, влияющий на формирование экстремальных температур воздуха, т. е. орографию местности. Физико-географические неоднородности суши оказывают сложное по своему физическому механизму влияние на температуру, влажность воздуха и ветер.

На температуру воздуха в приземном слое атмосферы оказывает влияние различные теплофизические свойства и формы рельефа. Эти особенности хорошо проявляются в устойчивых антициклонах зимой, в наиболее морозные дни, т.е. в те периоды года, когда отмечается максимальные значения эффективного излучения и инсоляции.

Суточные амплитуды температуры в долинах значительно больше, чем на возвышенностях: более низкие минимумы ночью и более высокие максимумы днем. В глубоких впадинах и котловинах ночью накапливаются «озера» холода и заметно ослабевает скорость ветра, что способствует ослаблению турбулентного перемешивания у подстилающей поверхности и сильному охлаждению воздуха и почвы.

В отрицательных формах рельефа ночью образуются более мощные инверсии по сравнению с возвышенностями, а днем – значительные изменения температуры с высотой со сверхadiaбатическими градиентами.

Представленные выше закономерности наиболее четко проявляется в условиях антициклонической погоды при ясном небе, слабом ветре и устойчивой стратификации на территории, охватывающей различные формы рельефа. Причина того, что ночью различие между значениями метеорологическими величинами на возвышенностях и в низинах больше, чем днем. С увеличением ветра эти различия ослабевают.

Таким образом, указанные закономерности необходимо постоянно учитывать при разработке прогноза экстремальных отрицательных температур в зимнее время.

## **Существующие и перспективные способы нейтрализации последствий негативного воздействия РКД на окружающую среду**

Веребенников И.Ю.

Научный руководитель – Воробьева С.С.

МАИ, г. Москва

Ракетно-космическая деятельность на сегодняшний день является одной из важнейших отраслей науки и техники. Связь, телевидение, навигация, метеорология, астрономия, перспективные исследования. Это лишь малая часть практического применения РКД.

Однако важно отметить, что РКД характеризуется многообразием факторов воздействия на окружающую среду. Эти воздействия имеют комплексный характер, а также существенно зависят от конкретных условий. Принципиальное отличие воздействия РКТ на окружающую природную среду от других антропогенных источников заключается в направленности практически на все сферы Земли – от поверхности до геостационарных орбит.

Стоит отметить, что вредное воздействие на ОС пролонгировано на протяжении всего производственно-эксплуатационного цикла РКТ. Каждый этап связан со своими рисками и негативными влияниями на ОС.

На основе анализа схем технологических процессов подготовки РН и РБ к пуску можно сделать вывод о наличии неблагоприятных факторов, в том числе проливов, испарения токсичных КРТ и электромагнитного загрязнения среды, уже на этапе наземной подготовки.

Во время полета РН происходит отделение ступеней, сопровождающееся разливами. Да и сам факт отчуждения земель под РКД, несомненно, уже можно считать фактом неблагоприятного воздействия на ОС. Наиболее значимые и серьезные экологические последствия связаны с аварийными и штатными ситуациями.

Анализ существующей практики и ближайшей перспективы показывает, что во всем мире наблюдается увеличение годичной частоты запусков, как следствие возрастают риски ЧС, а потому необходимо четко оценивать потенциальную опасность.

Безусловно, полностью исключить негативное воздействие космической техники на ОС, как, впрочем, и подавляющего большинства других сфер человеческой деятельности, нельзя. Именно поэтому вопрос нейтрализации и минимизации этих последствий стоит крайне остро.

К тому же следует учесть тот, факт, что переход на экологически чистое топливо сопряжен с рядом факторов, ограничивающих его применение. Так, например, для военно-промышленного комплекса (ВПК) – одного из главных эксплуатантов ракетной техники – ключевыми требованиями являются оперативность запуска и простота, длительность хранения, а потому сложности, связанные с подготовкой экоплатива, становятся непреодолимыми.

Итак, перед индустрией РКТ сегодня остро стоит два важных вопроса, связанных со специфическим воздействием на ОС:

- Превентивная защита от штатных ситуаций, возложенная на конструкторов РН и РБ;

- Нейтрализация последствий нештатных ситуаций, катастроф и просто факторов, сопутствующих повседневной ракетно-космической деятельности. В работе рассмотрены аспекты специфического воздействия РКД на ОС при разных ослабляющих-усиливающих факторы условиях, в том числе и на этапах подготовки РН и РБ, изучены различные существующие и перспективные способы нейтрализации разливов и проливов КРТ, произведен анализ технологических схем.

## **Оценка эффективности методов обессеривания нефтепродуктов**

Гвоздева М.А., Степин С.С.

Научный руководитель – Кривошеин Д.А.

МАИ, г. Москва

В связи с увеличением автомобилей в городах все более острой становится проблема загрязнения атмосферы выхлопными газами. В среднем за сутки работы автомобиля средней мощности выделяется около 1 кг выхлопных газов. Значимость и острота этой проблемы растет с каждым годом.

Каждый автомобиль выбрасывает в атмосферу с отработавшими газами около 200 различных компонентов.

По воздействию на организм человека токсичные компоненты выбросов от автомобиля, в том числе и высокотоксичные можно разделить на: раздражающие (оксиды азота, сернистый газ, альдегиды), сенсibiliзирующие (аллергены СО), канцерогенные (бенз(а)пирен), мутагенные (свинец), влияющие на репродуктивную функцию (свинец и др.). С точки зрения наносимого экологического ущерба, автотранспорт лидирует во всех видах негативного воздействия.

Состав выхлопных газов зависит как от типа двигателя, так и от режима работы транспорта, что важно учитывать при реализации природоохранных мероприятий.

Одними из наиболее токсичных веществ, входящих в состав автомобильных выхлопов являются соединения серы.

Сера входит в состав нефти в виде растворенной элементарной серы, сероводорода, меркаптанов, сульфидов, дисульфидов и производных тиофена, а также в виде сложных соединений, содержащих одновременно атомы серы, кислорода и азота в различных сочетаниях. Серосодержащие соединения наиболее вредных как при переработке, так и при использовании нефтепродуктов, а именно, износ двигателя вызван химической коррозией при работе двигателя на топливе с высоким содержанием серы.

Примеси серы выводят из строя платиновые катализаторы, которые снижают загрязнение атмосферы компонентами от автомобильных выхлопных газов.

В тезисах рассмотрены основные существующие методы очистки нефти от серы: Каталитическая гидроочистка, биодесульфуризация, щелочная очистка, экстракция ОСС минеральными и органическими кислотами, серноокислотный метод, использование электрических полей высокой напряженности с генерацией стримерного электрического разряда (экспериментальный).

Проанализировав существующие методы снижения содержания серы в нефти. Установлено, что наиболее перспективным и экономичным способом,

позволяющим решить поставленную задачу, является метод, основанный на окислении сульфидов гидропироксидами в присутствии доступных катализаторов, обеспечивающих высокую селективность и скорость процесса, а также создание простой технологии получения и выделения сульфоксидов. Существует возможность дальнейшей переработки выделенных данным способом сераорганических соединений нефтяного происхождения, в частности сульфидов, сульфоксидов и сульфонов за счет использования полезных химических, физических и физико-химических свойств таких соединений.

### **Математическая модель течения пульсирующего потока жидкости в микроканале с гибкими стенками и демпфирующим элементом**

Герасименко Т.Н., Петров В.А., Семёнова О.В.

Научный руководитель – Хаустов А.И.

МАИ, г. Москва

В настоящее время проводится множество медико-биологических экспериментов на базе Международной Космической Станции. Особый интерес представляют собой исследования процессов фармакокинетики и фармакодинамики в условиях космического полёта. Проведение таких экспериментов на членах экипажа не желательно, так как может негативно сказаться на состоянии их здоровья. В качестве альтернативы предлагается использовать микрожидкостные биореакторы, позволяющие реализовать эксперименты с клетками и тканями человека *in vitro*. Для культивирования и исследования клеток человека в наземных условиях широко используются жидкостные биореакторы, которые осуществляют подвод к клеткам питательной среды в необходимых количествах по каналам размерами от 10 до 100 мкм. Современный жидкостной биореактор представляет собой замкнутую систему микроканалов, по которым циркулирует питательная среда, с ячейками, в которых располагаются клетки органов человека. В данной работе исследовался биореактор, изготовленный из полидиметилсилоксана (ПДМС). Жидкость нагнеталась с помощью насоса объёмного типа, который создает пульсирующий поток.

Поток жидкости в таких системах оказывает механическое воздействие (повышенное касательное напряжение, пульсации давления) на культивируемые клетки, вызывая деформацию клеток, изменение скорости фильтрации среды через клеточную модель. Для того чтобы минимизировать воздействие на клетки флуктуаций давления от насоса, в конструкцию микробиореактора перед ячейками с клетками была установлена демпфирующая мембрана.

Целью данной работы являлось создание математической модели замкнутого микроконтур, которая учитывала бы поведение гибких стенок канала из ПДМС и демпфирующего элемента под воздействием пульсирующего потока.

Течение в канале рассчитывалось методом электромеханической аналогии. Вязкость жидкости моделировалась распределенным гидравлическим сопротивлением, эластичность стенок – распределенной емкостью. В результате были получены уравнения аналогичные уравнениям диффузии для объемного

расхода и динамического давления в канале. Статическое давление оценивалось исходя из объема жидкости, вытолкнутого мембранами насоса.

В результате работы составлена математическая модель, позволяющая получить значения давления и расхода в каждой точке канала с учётом эластичности стенок, движения демпфирующего элемента. Результаты расчётов хорошо согласуются с экспериментальными данными.

## **Пути решения проблем загрязнения атмосферы**

Гидрович А.С., Парамзина В.В.

Научный руководитель – Чвёрткин А.Г.

МАИ, г. Москва

С каждым годом количество выбросов опасных веществ увеличивается. По этой причине эта проблема является актуальной. Последствие опасных веществ, выбрасываемых в атмосферу, с каждым годом усугубляется. В связи с этим внимание к этой проблеме в мире постоянно растёт. Например, в 2001 году была проведена Стокгольмская конвенция, которую подписали многие страны. Главная цель данной конвенции заключалась в защите здоровья людей и окружающей среды и направлена на сокращение уровней выбросов канцерогенносодержащих веществ и их ликвидацию.

Основными источниками загрязнения атмосферы являются:

- автомобили;
- предприятия химической и нефтехимической переработки;
- лесные пожары, в том числе торфяные пожары;
- сжигание мусора.

Загрязнение атмосферы оказывает неблагоприятное воздействие на организм человека через кожу, дыхательные пути, которые приводят к болезням:

- болезни дыхательных путей;
- болезни сердца;
- иммунодефицит.

Также выхлопные газы вызывают атеросклероз головного мозга.

Авторами проведен анализ основных задач в борьбе с данной проблемой. Было выяснено, что основная доля загрязнения атмосферы – автотранспорт - составляет 70-80% от совокупного количества выбросов в атмосферу. Одна из главных причин сверхмерного загрязнения выхлопными газами наших мегаполисов – это крайне низкое качество автомобильного топлива.

Наибольшую опасность представляют оксиды азота, в 10 раз опаснее, чем угарный газ. Также в отходящие газы могут входить оксиды серы, свинец, бром, хлор и их соединения.

Пути решения снижения количества выбросов в атмосферу:

- совершенствование двигателей;
- использование экологических видов топлива;
- снабжение выхлопных труб нейтрализаторами;
- создание зоны зеленых насаждений вдоль дорог.

По мнению авторского коллектива, эта тема является одной из более актуальных проблем, т.к. большое количество выбросов в атмосферу наносит вред не только здоровью человека, но и окружающей среде.

## **К вопросу об обеспечении безопасности образовательного процесса в ВУЗах**

Горчаков Н.Н., Горчакова И.М.  
Научный руководитель – Дмитренко В.П.  
МАИ, г. Москва

Даже один несчастный случай является трагедией для семьи, в которой произошло подобное происшествие, поэтому все случаи должны быть тщательно расследованы и выработаны корректирующие мероприятия, а также предприняты все возможные действия по их предотвращению.

Для предотвращения несчастных случаев с учащимися и работниками необходимо создание системы управления охраны труда и обеспечение безопасности образовательного процесса в высших учебных заведениях (далее ВУЗ). Трудовое законодательство диктует выполнение обязательств по функционированию системы управления охраны труда во всех организациях, включая ВУЗы.

Система управления охраны труда и обеспечение безопасности образовательного процесса может базироваться на межгосударственных (Гост 12.0.230-2007), национальных (Гост 12.0.007-2009, Гост Р 54934-2012) и зарубежных (OHSAS 18001:2007) стандартах. В настоящее время разрабатывается стандарт ISO 45001, позволяющий улучшить интегрирование системы управления охраны труда с другими системами, например с системой управления качеством и или с системой экологического менеджмента.

Сходство предлагаемых стандартов заключается в оценке и управлении рисками в области охраны труда, пожарной безопасности, санитарно-эпидемиологических и других требований применимых к организации.

Особенностью внедрения системы управления охраны труда и обеспечения безопасности образовательного процесса является отсутствие установленной и законодательно закреплённой периодичности проведения инструктажей для учащихся. ВУзам необходимо самим определить периодичность проведения инструктажей, особенно

при работе на новом современном оборудовании.

Для полноценного функционирования системы управления охраны труда и обеспечения безопасности образовательного процесса необходимо разработать комплексную методику оценки безопасности рабочих мест ВУЗов. Эта комплексная методика важна в первую очередь для лабораторий и центров коллективного пользования всех технических ВУЗов, но наиболее значима эта методика для лабораторий ВУЗов авиационной и космической направленности, так как исследовательская и образовательная деятельность, проводимая в лабораториях с использованием испытательных стендов, машин, механизмов, оборудования, химических и или биологических веществ наиболее опасная, чем работа в других подразделениях.

Разработанная комплексная методика поможет всем заинтересованным сторонам оценить уровень (рейтинг) безопасности рабочих мест лабораторий ВУЗов в области охраны труда, пожарной безопасности и санитарно-эпидемиологических требований, получить предварительную оценку в части соответствия требований для дальнейшего лицензирования образовательной

деятельности, а также ляжет в основу разработки корректирующих мероприятий по снижению уровня рисков и предотвращению несчастных случаев.

## **Получение из отходов текстильной промышленности различных материалов, используемых для строительства**

Давлетгареева Э.Н., Киселева А.П., Сивцов В.А.

Научный руководитель – Горбачев С.И., Булычев С.Н.

МАИ, г. Москва

Текстильные отходы производства являются одним из основных источников вторичного сырья для получения вторичных текстильных материалов.

Для сокращения объемов отходов, удаляемых на свалки и полигоны ТБО, и уменьшения их негативного влияния на окружающую среду текстильные отходы необходимо вовлекать в материальное производство в качестве вторичного сырья.

Отходами производства в текстильной промышленности являются природные, синтетические и искусственные волокна. К натуральным относятся: хлопок, шерсть, шелк. К синтетическим: капрон, спандекс и волокна других тканей, получаемых из полимеров. Наиболее востребованными считаются материалы из искусственных волокон, получаемых из высокомолекулярных соединений, а, следовательно, отходов данного вида наибольшее количество. Особенности отходов текстильного производства являются большие объемы образования, однородность и высокая чистота.

Известно достаточно видов продукции в строительстве, получаемых из текстильных отходов производства и потребления, – это утеплители различного назначения, звукоизоляционные, прокладочные материалы и другие изделия. Для получения таких материалов применяются различные методы и материалы.

К наиболее применяемым технологиям относят иглопробивной способ переработки, адгезионное скрепление (клеевой способ), термическое и механическое скрепление, полумокрое формование, вязально-прошивной и гидроструйный способы.

Существует технология производства теплозвукоизоляционных плит из текстильных отходов, изготавливаемые из текстильных отходов и минерального связующего по технологии полумокрого формования. Содержание связующего в теплозвукоизоляционных плитах около 30%. Они предназначены для утепления ограждающих конструкций и устройства звукоизоляционных прокладок или слоев в полах.

Широкое распространение получили утеплители в виде матов, получаемые иглопробивным способом. Они представляют собой волокнистую структуру с хаотично расположенными волокнами.

Нетканые полотна, получаемые по иглопробивной технологии, содержащие вискозно-лавсановый очес и вискозный пух, используют в качестве основы защитно-покровного материала, применяемого для тепловой изоляции. По холстопршивной технологии из отходов шелковой промышленности разработан ассортимент нетканых полотен, включающий полотна для тепловой изоляции и обтирочные полотна.

Применяют утеплители, которые производятся из экологически чистых материалов, 80% из которых занимает лен и отходы его переработки. Для производства утеплителя можно использовать короткое волокно, льняной очес, волокнистые отходы с прядильных фабрик. Они представляют собой объёмный мат, состоящий из отходов льнопроизводства, скреплённых между собой легкоплавким полимером.

Нетканые материалы, используемые в качестве утеплителей, обладают отличными теплозащитными свойствами, легкостью, упругостью. Они значительно превосходят по гигиеническим характеристикам утеплители из других материалов, поэтому получили заслуженное признание.

Наибольшей эффективностью для получения строительных звуко- и теплоизоляционных материалов обладает иглопробивной способ переработки.

## **Проблемы обращения с твёрдыми бытовыми отходами в РФ**

Дмитриев А.Д.

Научный руководитель – Мануйлова Н.Б.

МАИ, г. Москва

Твердые бытовые отходы (ТБО) в РФ представляют собой грубую механическую смесь самых разнообразных материалов и гниющих продуктов, отличающихся по физическим, химическим и механическим свойствам и размерам.

По качественному составу ТБО подразделяются на бумагу (картон), пищевые отходы, дерево, металл чёрный, металл цветной, текстиль, кости, стекло, кожу и резину, камни, полимерные материалы, прочие компоненты, отсев (мелкие фрагменты, проходящие через 1,5-сантиметровую сетку). К опасным ТБО относятся попавшие в отходы батарейки и аккумуляторы, электроприборы, лаки, краски и косметика, удобрения и ядохимикаты, бытовая химия, медицинские отходы, ртутьсодержащие термометры, барометры, тонометры, лампы.

При решении вопроса о способах утилизации отходов необходимо исходить из следующих принципов: 1). ТБО состоят из различных компонент, к которым должны применяться различные подходы. 2). Комбинация технологий и мероприятий, включая сокращение количества отходов, вторичную переработку и компостирование, захоронение на полигонах и мусоросжигание, должна использоваться для утилизации тех или иных специфических компонент ТБО. Все технологии и мероприятия разрабатываются в комплексе, дополняя друг друга. 3). Муниципальная система утилизации ТБО должна разрабатываться с учетом конкретных местных проблем и базироваться на местных ресурсах. Местный опыт в утилизации ТБО должен постепенно приобретаться посредством разработки и осуществления небольших программ. 4). Комплексный подход к переработке отходов базируется на стратегическом долгосрочном планировании, обеспечивает гибкость, необходимую для того, чтобы быть способным адаптироваться к будущим изменениям в составе и количестве ТБО и доступности технологий утилизации. Мониторинг и оценка результатов мероприятий должны непрерывно сопровождать разработку и осуществление программ утилизации ТБО. 5). Участие городских властей, а

также всех групп населения (т.е. тех, кто собственно "производит" мусор) – необходимый элемент любой программы по решению проблемы ТБО.

В России забыта перерабатывающая промышленность, не организована система сбора вторичных ресурсов, не оборудованы в населенных пунктах места для сбора вторичных ресурсов, не везде налажена система вывоза образующихся отходов, слабый контроль над их образованием. Это влечет за собой ухудшение состояния окружающей среды, негативное воздействие на здоровье человека. В одних случаях технология использования отходов не требует их обработки, а в других отдельные процессы переработки отходов технически нецелесообразны или экономически невыгодны из-за непомерно больших затрат материальных, транспортных, финансовых и человеческих ресурсов.

### **Актуальные проблемы безопасности нефтегазовых комплексов в Арктике**

Еремина А.В., Ермакова Н.О.

Научный руководитель – Четверкин А.Г.

МАИ, г. Москва

Очистка северных территорий России от загрязнения ведется давно, по результатам планируется разместить там как научные станции, так и военные базы. Не исключено, что там будут находиться и суда с ядерным оружием, и суда на ядерных реакторах (подлодки, охранные корабли). Большинство исследований в России проводятся под грифом «секретно», особенно оборонной направленности, следовательно, не будет ясности и в том, какие исследования будут проводиться новыми НИИ.

Предпосылки к выбору тематики по Арктике:

- Большие запасы углеводородного сырья, следовательно, будет развиваться инфраструктура добычи и переработки.
- Развитие инфраструктуры подразумевает соответствующее заселение территорий людьми, антропогенное загрязнение может оказать крайне пагубное воздействие на флору и фауну, привести к дальнейшим неконтролируемым изменениям климата и таянию ледников, загрязнению водных течений.

Заполярные месторождения - это перспективное направление развития не только для «Газпром нефти», но и для всей российской нефтяной отрасли. Особенности их географии и климатических условий долгое время оставляли за бортом отечественной нефтедобычи значительные запасы. «Газпром нефть» первой в России начала разрабатывать залежи на арктическом шельфе и одной из первых приступила к промышленной добыче в Заполярье – на Новопортовском месторождении.

В настоящее время компанией «Газпром» внедряется проекты «Новый порт» (в юго-восточной части полуострова в ЯНАО) и «Ворота Арктики» (в акватории Обской губы). Но нельзя быть уверенными в том, что эти проекты абсолютно безопасны.

Авторским коллективом были рассмотрены и оценены негативные последствия от возможности возникновения аварийных ситуаций на опасных

крупных разрабатываемых нефтегазоконденсатных комплексах в районах Арктики:

- на сегодняшний день мы не обладаем необходимыми технологиями, позволяющими очистить акваторию Арктики от нефтепродуктов в случае крупных аварий. Что вызовет некоторые трудности освоения нефтерождений, а также может повлечь за собой недоверие со стороны общества;
- любые сбои в поставке нефти, а также значительные материальные затраты на восстановление нормального хода работы терминала и прилегающей к нему инфраструктуры пагубно сказываются на экономической ситуации всей страны;
- Арктика – одна из самых хрупких экосистем планеты. Экологические проблемы Арктики в силу ее природно-географических особенностей имеют глобальный характер. Арктика является климатоформирующим регионом планеты, поэтому состояние окружающей среды в Арктике является одновременно и важным индикатором глобальных изменений.

Изучение и освоение Арктики – всегда было одной из важнейших задач учёных, путешественников и исследователей нашей страны.

В качестве органа, обеспечивающего организацию и защиту Арктического шельфа, авторский коллектив считает возможным создание ведомства по делам Арктики, функциями которого станут защита и сохранение всей территории Арктической зоны, а также сохранения природного ландшафта, животных и территорий проживания коренных малочисленных народов.

### **Аэрокосмические средства дистанционного зондирования в экологическом мониторинге – требование времени**

Жигулаев А.А., Кузьменко Т.А., Манджиева А.Ю.

Научный руководитель – Метечко Л.Б.

МАИ, г. Москва

Изменения, вносимые человеком в природную среду, и экологические эффекты, порождаемые его деятельностью, имеют, по крайней мере, региональный, а часто и глобальный характер, без аэрокосмических средств наблюдения нельзя своевременно выявить их, ни проследить их динамику, ни дать полной картины происходящего вокруг нас. Достаточно сказать, что, как показывают аэрокосмические снимки, воздействие хозяйственной активности людей заметно на 60% суши, а в некоторых зонах эта цифра достигает 98%.

Следует отметить, что антропогенные изменения природной среды происходят на два-три порядка быстрее, чем природные, и уследить за ними традиционными методами экологического мониторинга на большой территории порой задача неразрешимая.

Нельзя оставить без внимания и тот аспект, что исследование развития сложных экологических систем и, тем более Биосферы Земли, дают адекватные результаты лишь в случае, когда они рассматриваются как единое целое, целиком.

Учение о биосфере академика В.И.Вернадского сыграло важную роль в подготовке целостного восприятия природных процессов как единой глобальной системы, функционирование которой основано на динамическом единстве и

взаимодействии «живых», «костных» и «биокастных» компонентов. Окончательные предпосылки для утверждения учения Вернадского о системной концепции созрели лишь к середине XX века, с развитием экспериментальной и технической базы, расширением комплексных исследований природных экосистем и геотехнических систем с антропогенной технической компонентой.

Именно во второй половине 20 века окончательно утвердилась системная концепция, как основная концепция изучения экологии, это позволили сделать успехи в изучении и моделировании экосистем.

Для успешного утверждения этой концепции потребовались достижения современной техники и информационных технологий, которые удалось реализовать в международных проектах в рамках международного сотрудничества в области управления экологической безопасностью.

Современная экология не только изучает законы функционирования природных и антропогенных экосистем, но и ищет оптимальные формы взаимодействия природы и человеческого общества.

В наше время эффективно решить столь сложную задачу можно лишь единственным способом: регулярной съемкой земной поверхности с самолетов и спутников, то есть аэрокосмическими методами экологического мониторинга.

### **Исследования по улучшению взлётно-посадочных характеристик самолета корабельного базирования Су-33**

Зотов С.А.

Научный руководитель – Дулин В.В.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

В данной работе рассматриваются пути улучшения взлетно-посадочных характеристик самолета корабельного базирования Су-33 путем увеличения подъемной силы и лобового сопротивления вследствие применения в механизации крыла дополнительного элемента – сдвижной панели, с возможностью выдвижения ее за заднюю кромку крыла в поток на заданную величину. Известно, что дополнительная подъемная сила на взлетно-посадочных режимах приводит к снижению допустимых рабочих скоростей данных режимов, упрощению пилотирования, повышению безопасности полета, а также сокращению потребной длины взлетно-посадочной полосы. Данные конструктивные решения наиболее актуальны для самолетов корабельного базирования из-за ограниченной длины взлетной и посадочной дистанции на палубе авианесущих кораблей.

Целями нашей работы являются:

1. Оценка возможности посадки на корабль корабельного истребителя Су-33 при боевых или эксплуатационных повреждениях силовой установки корабля и вследствие этого потере хода корабля вплоть до режима «Стоп».
2. Военно-экономический анализ эффективности применения конструктивной доработки крыла.
3. Исследования влияния относительно перехлеста сдвижной панели и закрылка на приращение коэффициента подъемной силы на режиме «Взлет».

4. Моделирование и оценка элементов управления новым силовым элементом механизации крыла, а так же создание приборной составляющей данной системы.

Нами была разработана компьютерная модель отсека крыла самолета Су-33 с механизацией. С помощью приложения FlowSimulation для SolidWorks проведены аэродинамические расчеты отсека традиционного крыла и отсека крыла со сдвижной панелью.

В результате проведенных аэродинамических расчетов отсека традиционного крыла и отсека крыла со сдвижной панелью нами были сформулированы следующие выводы:

1. При применении данной конструктивной доработки механизации крыла истребителей Су-33 возможен взлет и посадка на корабль в аварийной обстановке при потере хода корабля вплоть до режима «Стоп» вследствие эксплуатационных или боевых повреждений силовой установки корабля.

2. Применение конструктивной доработки дает возможность получить существенный экономический эффект в результате уменьшения расхода топлива главных силовых установок авианесущего крейсера.

Это позволит увеличить дальность автономного хода и вследствие этого существенно увеличить боевые возможности корабельной ударной группировки ВМФ.

## **Проблема взаимодействия человека и техносферы**

Ишбулатова Г.В.

Научный руководитель – Белов П.Г.

МАИ, г. Москва

Человек и окружающая его среда в процессе жизнедеятельности неразрывно взаимодействуют друг с другом. Его результат может меняться в разных диапазонах: от позитивного до катастрофического, сопровождающегося многочисленными жертвами и разрушением части среды обитания.

Человек и окружающая его среда гармонично взаимодействуют и развиваются лишь в условиях, когда потоки энергии, вещества и информации находятся в пределах, благоприятно воспринимаемых человеком и природной средой. Любое превышение привычных уровней этих потоков сопровождается негативными воздействиями на человека, техносферу и/или природную среду.

Обеспечение безопасности жизнедеятельности человека в техносфере - путь к решению многих проблем защиты природной среды от негативного влияния техносферы. Из вышесказанного следует, что решение задач, связанных с обеспечением безопасности жизнедеятельности человека, - фундамент для решения проблем безопасности на более высоких уровнях: техносферном, региональном, биосферном, глобальном.

В основе возникновения и проявления опасностей техносферы лежит человеческая деятельность, направленная на формирование и трансформацию потоков вещества, энергии и информации в жизненном пространстве. Изучая и изменяя эти потоки, необходимо ограничить их величину допустимыми значениями. Если сделать это не удастся, то жизнедеятельность становится опасной.

Мир опасностей в техносфере непрерывно нарастает, а методы и средства защиты от них создаются и совершенствуются со значительным опозданием. Остроту проблем безопасности практически всегда оценивали по результату воздействия негативных факторов - числу жертв, потерям качества компонентов биосферы, материальному ущербу.

Сформулированные на такой основе защитные мероприятия оказывались и оказываются несвоевременными, недостаточными и как следствие недостаточно эффективными. Ярким примером вышеизложенного является начавшийся в 70-е годы с тридцатилетним опозданием экологический бум в защиту окружающей среды, который по сей день во многих странах, в том числе и в России, не набрал необходимой силы.

Оценка последствий от воздействия негативных факторов по конечному результату - грубейший просчет человечества, приведший к огромным жертвам и кризису биосферы.

Автор считает, что в ближайшем будущем общество должно научиться прогнозировать негативные воздействия и стараться обеспечивать безопасность принимаемых решений на стадии их разработки, а для парирования действующих негативных факторов – создавать и активно использовать защитные средства и мероприятия, всемерно ограничивая зоны действия и уровни негативных факторов. И именно в этом я, как будущий специалист по безопасности жизнедеятельности, вижу свою задачу.

### **Подсистема дистанционного мониторинга опасных для авиации явлений погоды на базе метеорологических космических аппаратов**

Качмар М.Б.

Научный руководитель – Расторгуев И.П.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

Метеорологические и аэрологические данные, получаемые на государственных и ведомственных регулярных наблюдательных сетях характеризуются значительной дискретностью в пространстве и во времени, что снижает качество гидрометеорологического обеспечения отраслей экономики и сферы обеспечения безопасности и обороноспособности государства. Наблюдается дальнейший разрыв между потребностями и реальными возможностями получения исходных данных для отслеживания сложных метеорологических условий и опасных явлений погоды (НПУ и ОЯП), а также их дальнейшего использования при реализации прогностических алгоритмов.

В связи с этим, представляется перспективным дальнейшее развитие технических средств и технологий применения систем, обеспечивающих производство интегральных наблюдений за метеорологическими объектами в атмосфере: метеорологических искусственных спутников земли (МИСЗ), радиолокационных метеорологических станций (МРЛ) и дистанционно пилотируемых летательных аппаратов (ДПЛА) с метеорологической целевой нагрузкой.

В результате проведенных исследований, разработана Методика комплексного использования данных дистанционного зондирования атмосферы на основе трехуровневой модели на основе указанных технологий.

Первый сегмент данной триады – Подсистема дистанционного мониторинга опасных для авиации явлений погоды на базе метеорологических космических аппаратов. Она базируется на данных метеорологических орбитальных спутников серий «Метеор 3М» и NOAA, покрывающих территории с продольной составляющей макромасштаба и шириной сканирования около трех тысяч километров (синоптический масштаб) при периодичности зондирования 2-3 часа. Сканирование производится в пяти спектральных диапазонах и несет информацию в основном о верхней границе облаков и подстилающей поверхности (с непокрытых облаками участков) в цифровом формате с максимальным пространственным разрешением около одного километра.

Данные этого сегмента наиболее информативны при определении пространственно-временных характеристик барических образований, атмосферных фронтов и воздушных масс, их эволюции и динамики.

Существенным результатом проведенного исследования являются выявленные взаимосвязи параметров облачности, оцениваемых со спутника с характеристиками синоптического положения (экстремальными значениями давления в центре циклона, барическими тенденциями за и перед атмосферными фронтами, барическими и температурными градиентами) и распределением метеорологических величин в зоне фронта у поверхности земли и в свободной атмосфере (максимальной протяженностью зоны осадков по нормали к линии фронта, максимальным сдвигом ветра при прохождении фронта (схождением потоков), максимальной скоростью ветра в зоне фронта, минимальным значением дальности видимости в зоне осадков, наименьшим значением высоты нижней границы облачности).

В целом, выявленные закономерности пространственно-временного распределения характеристик облачных систем атмосферных фронтов существенно отличаются от значений полученных ранее по данным наземных, аэрологических наблюдений и аналоговым спутниковым изображениям.

## **Некоторые инженерно-технические проблемы создания искусственной гравитации с помощью бортовой центрифуги короткого радиуса**

Клесарева М.В.

Научные руководители – Колотева М.И., Строгонова Л.Б.

ГНЦ РФ ИМБП РАН, МАИ, г. Москва

Основной проблемой в длительных пилотируемых космических полетах (КП) остается поддержание здоровья и работоспособности космонавтов непосредственно во время полетов, а главное – при высадке на поверхность других планет и при возвращении на Землю.

Практика КП свидетельствует о том, что, несмотря на использование существующих средств профилактики, возникают трудности при возвращении на Землю, так как длительное пребывание в условиях невесомости закономерно приводит к цепной реакции нежелательных физиологических адаптаций, что создает угрозу здоровью и безопасности для человека. Поэтому одной из центральных задач космической медицины следует считать разработку медико – биологических средств и способов предотвращения последствий адаптации организма к невесомости, которые, с одной стороны, были бы эффективными и безопасными для здоровья при любой продолжительности полета, а с

другой – не являлись бы обременительными для экипажа. Создание искусственной силы тяжести (ИСТ) – возможный способ адекватного решения этой задачи.

Предложено два основных варианта создания ИСТ – путём постоянного вращения космической системы вокруг центра масс или путём применения центрифуги короткого радиуса (ЦКР), размещённой на космической станции или в её модуле для создания кратковременных, но периодически повторяющихся эффектов гравитации. Из двух вариантов создания ИСТ предпочтение отдаётся установке на борту космического корабля центрифуги с коротким радиусом вращения (БЦКР). Этот вариант реализован в наземном исполнении, как прототип БЦКР. В настоящее время международной командой исследователей на базе ГНЦ РФ ИМБП РАН проходят технические и медико-биологические испытания прототипа БЦКР. В докладе рассматриваются технические и медико-биологические особенности испытаний. Обоснованность и техническая реализация введения на БЦКР средств для обеспечения нагрузочных проб, выполняемый испытуемым (космонавтом) непосредственно во время создания ИСТ на прототипе БЦКР.

## **Научно-методический аппарат оценки электрической активности атмосферы**

Климчук В.С.

Научный руководитель – Кузнецов И.Е.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

Электрическое состояние атмосферы играет важную роль в процессах образования локальных мезомасштабных атмосферных возмущений, генерации осадков, развития и эволюции таких опасных явлений погоды как град, гроза, смерч. Наличие зарядов на гидрометеорах приводит к пространственно-временным флюктуациям микрофизических характеристик облаков и осадков, высоты нижней границы облаков, изменению условий замерзания облачных капель, а также оказывает существенное влияние на интенсивность обледенения летательных аппаратов. Отмеченный достаточно широкий, но далеко не полный спектр влияния электрического состояния атмосферы на протекающие процессы требует разработки методов, позволяющих проводить оценку электрических характеристик облаков и осадков. Первопричиной возникновения вариаций электрического поля атмосферы является наличие в ней электрических зарядов, носителями которых являются аэрозоли – взвешенные в воздухе частицы различного происхождения. В настоящее время данные о зарядах атмосферного аэрозоля получаются контактными способами при использовании технических средств, устанавливаемых на борту воздушных судов, наземных ловушек, введением в исследуемую среду зондов с измерительными приборами. Недостатком контактных способов является низкая пространственно-временная дискретность; невозможность получения информации в больших объемах пространства; искажение информации, обусловленное влиянием воздушных судов на характеристики электрического поля атмосферы. Отмеченные недостатки не позволяют получать достоверную информацию об электрических параметрах атмосферы.

Целью работы является повышение точности дистанционной оценки электрического состояния облаков и осадков путем разработки методики радиолокационного определения заряда облачного аэрозоля и частиц осадков.

Сущность предлагаемой методики заключается в том, что для получения информации о заряде аэрозольных частиц облаков и осадков используется

известная из теории Максвелла зависимость величины поглощения электромагнитной волны исследуемым объемом облачной атмосферы от электрофизических свойств аэрозольных частиц данного объема с одной стороны, и зависимости электрофизических свойств аэрозольных частиц от их зарядов – с другой стороны. В связи с этим излучают радиолокационный сигнал одновременно на двух длинах волн в направлении исследуемого объема облака или осадков с заряженными аэрозольными частицами. Для двух областей пространства, лежащих внутри исследуемой зоны вдоль луча радиолокатора, измеряют отраженные аэрозольными частицами электромагнитные сигналы, отношение мощностей которых и сдвиг фаз между ними позволяет получить сведения об электрофизических характеристиках аэрозольных частиц, которые в свою очередь функционально связаны с величиной заряда данных частиц. Проведенные численный и натурный эксперименты позволили подтвердить гипотезу о возможности получения численной информации о заряде аэрозольных частиц и напряженности электрического поля в облаках и осадках. Результаты численного моделирования рассеяния электромагнитных волн на заряженных атмосферных аэрозолях подтверждаются данными натурального эксперимента.

Проведенное исследование показало широкие возможности применения метеорологических радиолокационных и акустических комплексов для обнаружения электрически опасных зон и оценки среднего заряда в них, а также возможность использования полученных результатов для решения метеорологических задач.

### **Жизнеобеспечение экипажей межпланетных экспедиций**

Корончик В.С.

Научный руководитель – Нестерович Т.Б.

МАИ, г. Москва

Эффективность работы комплекса бортового оборудования по жизнеобеспечению экипажей в космическом полете является одним из условий поддержания работоспособности и профессиональной надежности космонавтов. Его составными частями являются системы обеспечения газового состава, питания, теплового режима, водоснабжения и санитарно-гигиенических услуг. В комплекс систем жизнеобеспечения входят средства защиты космонавтов от перегрузок, снижения неблагоприятного влияния невесомости и ионизирующих излучений, создания необходимых условий для профессиональной деятельности и отдыха, а также поддержания работоспособности космонавтов: медицинского контроля их состояния и периодических обследований, профилактики заболеваний и оказания помощи и специализированного лечения. Кроме того, используются индивидуальные средства защиты, имеются носимый аварийный запас космонавтов и средства защиты от разгерметизации обитаемого отсека, а также обеспечения выполнения космонавтами внекорабельной деятельности.

Применительно к межпланетным экспедициям наряду с традиционными задачами обеспечения экипажей кислородом, удаления диоксида углерода, вредных микропримесей и поддержания температуры, давления, влажности и ионного состава воздуха и оптимальных уровней электростатических и

электромагнитных полей, возникает необходимость решения и дополнительных задач. В частности, имеются в виду усиление радиационной и микробиологической защиты и обеспечение экипажей значительно большим количеством продуктов питания, питьевой воды и жидкостей для санитарно-гигиенических и бытовых нужд, обеззараживание и консервация отходов, оперативный контроль и управление параметрами среды обитания. При разработке требований к комплексу систем жизнеобеспечения экипажей межпланетных экспедиций в качестве приоритетных критериев рассматриваются общие требования по обеспечению безопасности и надежности функционирования оборудования, учет специфики и сценариев полетов, проектного облика космических кораблей и необходимость минимизации масс, габаритов и энергопотребления.

В качестве возможных решений по выполнению этих требований проводятся исследования различными организациями и учреждениями. Разрабатываются средства идентификации возможных органических соединений в атмосфере корабля и автоматического контроля качества воды и продуктов, снижения уровня шума и повышения надежности системы сигнализации об исправности работы бортовой аппаратуры. Ведутся исследования по разработке средств, обладающих повышенными радиопротекторными свойствами. Рассматриваются возможности создания биологических систем жизнеобеспечения и медико-биологических и технологических систем замкнутого типа, а также биологически полноценной среды обитания и др. Однако разработка систем жизнеобеспечения на основе инновационных подходов и решений предполагает совместные исследования и кооперацию специалистов различных учреждений и организаций. Системный характер этим исследованиям может придать их эргономическое обеспечение и использование показателей и критериев оценки деятельности и функционального состояния космонавтов. Это предполагает учет требований эргономики на всех стадиях создания и этапах испытаний систем жизнеобеспечения космонавтов в продолжительных космических полетах и межпланетных экспедициях.

### **Использование данных метеорологических космических аппаратов для прогноза синоптического положения**

Коротеев В.В., Савченко П.Д.

Научный руководитель – Андронников В.В.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

Решение задачи комплексного исследования атмосферы и совершенствование методов прогнозирования погоды на современном этапе невозможно без широкого использования всего объема информации, поступающих с метеорологических космических аппаратов (МКА). Возможность осуществления при помощи спутников глобальных измерений открывает большие перспективы получения разнообразной информации о состоянии атмосферы над регионами с редкой сетью синоптических и аэрологических станций. Особенно это стало актуально в настоящее время, когда произошёл скачок в качественном развитии наземных пунктов приёма спутниковой информации.

Использование всей информации, получаемой с МКА, открывает большие возможности в анализе и прогнозе погоды. Прогноз возникновения, эволюции, перемещения фронтальных циклонов является одной из сложнейших задач синоптической метеорологии. Не всегда в оперативной практике метеоролог, используя только приземные карты погоды, может с достаточной степенью точности определить время образования волны на холодном фронте и возможность перехода волны в циклон и дальнейшее его перемещение. Спутниковые изображения облачности, получаемые с современных космических аппаратов, обладающие хорошей разрешающей способностью, могут значительно облегчить эту задачу.

Форма и структура облачных образований, их эволюция и перемещение отражают сложный комплекс физических процессов, протекающих в атмосфере. От характера этих процессов зависит картина распределения облаков на снимках. Поэтому изображения облачности можно использовать для оценки синоптической ситуации и уточнения распределения и эволюции целого ряда других параметров атмосферы, которые непосредственно со спутников не измеряются.

Для более точного определения направления смещения вихря была проанализирована зависимость между направлением его перемещения (угол  $\gamma$ ) и направлением на точку окончания спирали или смены ее циклонической кривизны на антициклоническую (угол  $\phi$ ).

Для определения тесноты и вида связи между исследуемыми величинами « $\gamma$ » и « $\phi$ » были рассчитаны коэффициенты корреляции ( $r^{\gamma\phi}$ ) и корреляционное

отношение ( $n_{\gamma\phi}$ ). В результате проведенных расчетов получены результаты:  $r^{\gamma\phi} = 0,789$ ,  $n_{\gamma\phi} = 0,788$ . Ошибка коэффициента корреляции составляет  $\sigma_z = 0,02$ . Выборочный порог достоверности ( $t_z$ ) оказался равным 37,06.

Проведенные расчеты свидетельствуют о достоверности оценки  $r^{\gamma\phi}$ . Итак, связь между направлением смещения вихря ( $\gamma$ ) и направлением на точку окончания облачной спирали ( $\phi$ ) в нашем случае носит линейный характер и она достоверна.

Обработка архивного материала подтвердила этот вывод. Получено уравнение регрессии, позволяющее с приемлемой точностью (17 градусов) прогнозировать направление перемещения циклонов, используя только данные, получаемые с МКА.

## **Пути энергосбережения при воздушном отоплении кабин мобильных объектов**

Котова О.Н.

Научный руководитель – Михайлов В.А.  
МГМУ (МАМИ), г. Москва

В производственных помещениях стационарных и мобильных объектов автотранспортного комплекса, требующих обогрева при наличии приточной вентиляции целесообразно применять воздушное отопление. Помимо обеспечения на рабочем месте нормируемой температуры воздуха в холодный период года система отопления должна обеспечивать его приемлемую

относительную влажность не ниже 30%. Поскольку в этот период влагосодержание наружного воздуха незначительно, а нормативное на рабочем месте должно быть порядка 4 г/кг сухого воздуха, обрабатываемый в отопителе воздух нужно увлажнять. В стационарных помещениях для этой цели используют увлажнитель, а на мобильных объектах это достигается путем частичной рециркуляции.

Температура наружного воздуха в большинстве климатических районов нашей страны весьма низка. Даже для условий города Москвы она достигает минус 26<sup>0</sup>С, в то время как на рабочем месте необходимо обеспечить плюс 20<sup>0</sup>С. Если в таком состоянии воздух вытяжной вентиляцией удаляется в атмосферу, то тепловая энергия системы отопления будет нерационально расходоваться на нагрев наружного воздуха.

Для энергосбережения путем снижения общей теплопроизводительности системы отопления существуют два пути.

Первый путь – применение указанной частичной рециркуляции, поскольку вредности удаляются непосредственно от источника их возникновения вытяжной вентиляцией. Здесь, как показывают соответствующие расчеты, энергозатраты на отопление могут быть снижены почти в два раза.

Второй путь энергосбережения, который применяется в современных системах – это утилизация тепловой энергии вытяжного потока для предварительного подогрева приточного воздуха. Для этой цели используют рекуператоры теплоты (теплоутилизаторы). В Европе, где расчетная температура наружного воздуха в холодный период составляет не ниже минус 4<sup>0</sup>С, такие рекуператоры успешно используются.

Однако опыт применения аппаратов с пластинчатым теплообменником-утилизатором в нашей стране показал, что из-за относительно низкой температуры наружного воздуха происходит обмерзание сконденсировавшейся на его пластинах влаги, которая, замерзая, перекрывает каналы.

Пластинчатый утилизатор можно успешно применить в условиях любых низких температур наружного воздуха, если осушить вытяжной воздух перед ним с помощью специального блока, содержащего силикагель.

Особенно предпочтительным является применение силикагеля при защите атмосферного воздуха от вредных газообразных и парообразных производственных выбросов.

Тогда в системе он совмещает две функции – очистителя выбросного воздуха от вредных примесей и его осушителя, обеспечивающего надежную работу системы при пониженной наружной температуре в режиме энергосбережения.

## **Повышение эффективности тушения лесных пожаров**

Кудряшов Д.А.

Научный руководитель – Чвёткин А.Г.

МАИ, г. Москва

Пожар является самой опасной угрозой для лесных ресурсов. Он также представляет опасность для людей, живущих в лесу или по соседству с лесом. Ежегодно из-за лесных пожаров тысячи людей теряют свои жилища, а сотни людей погибают в них. Кроме того, гибнут десятки тысяч диких животных.

Огонь уничтожает сельскохозяйственные посевы и ведет к эрозии почвы, которая в долгосрочной перспективе ведет к снижению потенциальной экологической функции лесов и увеличению количества не продуцирующих площадей. Когда в результате пожара почва становится бесплодной, а затем она намокает в результате сильных дождей, могут иметь место огромные грязевые или земляные оползни. Согласно имеющимся оценкам ежегодно:

- Выгорает от 10 до 15 миллионов гектаров бореального леса или леса умеренной зоны;
- Выгорает от 20 до 40 миллионов гектаров лесов зоны тропических дождей;
- Выгорает от 500 до 1000 миллионов гектаров тропических и субтропических саванн, лесных площадей и редиин.

Автором проведен анализ основных проблем в борьбе с лесными пожарами: Раннее вмешательство:

- Создание и поддержание сети противопожарных барьеров, полос земли шириной от 10 до 20 метров, очищенные от всякой растительности и горючих материалов;
- Ранее выявление пожара, с помощью установленного на самолете инфракрасного оборудования. Это даст возможность пожарным командам предотвратить пожар, прежде чем он распространится;
- Проведение тренировок в преддверии сезона лесных пожаров;
- Доведение до населения о технике безопасности и поведения в лесу.

Сбрасывание воды с самолета:

- Обозначение и создание мест в пожароопасных районах, откуда самолет будет забирать воду для своих контейнеров;
- Поставка новых самолётов с наибольшей ёмкостью с водой;
- Поддержание связи наземного персонала и самолетом при подготовке сбрасывания воды.

Проведя анализ способов борьбы, автором обнаружена низкая эффективность использования авиации при тушении лесных пожаров. Это связано с тем, что при сбрасывании воды, часть воды испаряется и не доходит до очага пожара, из-за высокого столба дыма снижается эффективность сбрасывания воды с высоты, а на низких высотах появляется риск аварий и гибели экипажа самолёта.

Автор приходит к выводу о необходимости разработки нового способа доставки огнетушащего вещества в очаг пожара. За основу могут быть приняты способы сбрасывания воды в шарообразной оболочке, с огнетушащим веществом. Доставка может осуществляться вертолётом с заранее оснащённых площадок, на которых необходимо разработать оборудование для наполнения шаровогнетушащим веществом.

## **Расчётный мониторинг загрязнения атмосферы мегаполисов**

Кузин П.А.

Научный руководитель – Графкина М.В.

МГМУ (МАМИ), г. Москва

Общепризнано, что одним из основных источников загрязнения атмосферы мегаполисов является автотранспорт. Отсюда для повышения экологической

безопасности городов необходимо совершенствовать методы мониторинга (как инструментального, так и расчетного) локального загрязнения атмосферы выхлопными газами автомобилями.

Расчетные методы мониторинга являются более экономичными, так как не требуют затрат на содержание контрольно-измерительных приборов и проведение инструментального контроля. В настоящее время для моделирования процессов загрязнения воздуха наиболее распространены два подхода – на основе законов рассеивания по формулам Гаусса, и на основе теории массопереноса (так называемые, «градиентные» модели или К-модели. Автору представилась возможность ознакомиться с финской моделью прогнозирования локального загрязнения атмосферы – CAR-FMI (Contaminants in the Air from a road, By the Finnish Meteorological Institute) и адаптировать ее для решения задачи мониторинга и прогнозирования загрязнения атмосферы городов выхлопами автотранспорта.

Выделены четыре группы основных факторов, оказывающих определяющее воздействие на режим рассеивания примеси от автотранспорта в городских условиях: характеристика застройки (наличие дворов-«колодцев», уличных каньонов); интенсивность автотранспортных потоков; расположение и характеристики стационарных объектов автотранспортного комплекса (автозаправки, станции автосервиса, стоянки автотранспорта); элементы улично-дорожной сети.

Была разработана программа, в которую заложены такие показатели как количество измерений; день года; отчет от 1го января; местное время, ч; количество легкового транспорта за час, 1/ч; количество тяжелого транспорта за час, 1/ч; скорость ветра измеренная на высоте 3.5 метра, м/с; направление ветра (угол); концентрация  $\text{NO}_x$  на высоте,  $\text{мкгр/м}^3$ ; концентрация  $\text{NO}_2$  на высоте,  $\text{мкгр/м}^3$ ; концентрация  $\text{O}_3$  на высоте,  $\text{мкгр/м}^3$ ; фоновая концентрация,  $\text{мкгр/м}^3$ ; координаты точки, м; эффективная высота источника загрязнения; размеры факела, м и др.

Результаты эксперимента позволяют сравнить значения концентрации, например, оксида азота в различные моменты времени, полученные расчетным путем и инструментальными измерениями. Анализ результатов показал, что при вариации различных параметров наибольшее влияние на концентрацию загрязнений оказывают следующие факторы: высота перемешивания, скорость ветра, измеренная на высоте 3.5 метра, размеры факела («облака выброса»).

Разработана упрощенная адаптированная модель на основе CAR-FMI, позволяет получать хорошие результаты сходимости расчетного и инструментального мониторинга. Выявлено, что различные факторы могут оказывать существенное влияние на значение концентрации загрязняющего вещества. Данная программа позволяет прогнозировать изменение концентрации загрязняющих веществ на территории города в зависимости от метеорологических условий и координат контрольных точек.

## **Комплексная оценка воздействия автотранспорта на окружающую среду мегаполиса**

Кузнецова А.С.

Научный руководитель – Сотникова Е.В.

МГМУ (МАМИ), г. Москва

Проблема загрязнения городской среды объектами дорожно-транспортного комплекса и разработки мероприятий по снижению негативного воздействия на живые организмы и окружающую среду приобретает в настоящее время все большее значение.

Выбросы автомобильного транспорта в Москве и других крупных городах Российской Федерации значительно превышают выбросы промышленных предприятий, достигая 80–95 % суммарных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

С конца 2013 года в Российской Федерации, в соответствии с распоряжением Федеральной службы по надзору в сфере природопользования от 1 ноября 2013 года № 6-р ведутся работы по оценке выбросов от автомобильного и железнодорожного транспорта.

По данным ФБУ «ЦЛАТИ по ЦФО» суммарные выбросы загрязняющих веществ от автотранспорта в 2014 году в Москве и Московской области составили 1699,3 тыс. тонн, что составляет 47% всех выбросов от автотранспорта в Центральном федеральном округе. По сравнению с 2013 годом суммарные выбросы от автотранспорта в Москве увеличились почти на 1,7%. Кроме того, значительное увеличение объема выбросов отмечено на территории Московской области, что может быть связано с интенсивным строительством жилищного фонда, транспортных и инфраструктурных объектов.

Степень загрязнения вдоль автомобильных дорог оценивается по комплексу показателей. Основной из них – интенсивность движения автомобильного транспорта на дорогах. Загрязнение почв и воздуха начинается при превышении критической загрузки дорог транспортными средствами – 700-800 автомобилей в сутки. В полосе шириной до 300 м происходит загрязнение почв соединениями свинца, цинка, кадмия, хрома, ванадия. Существует прямая связь между интенсивностью дорожного движения и общим количеством тяжелых металлов на близлежащей территории. Вдоль дорожного полотна содержание тяжелых металлов в почве и травяном покрове увеличивается в 10-20 раз по отношению к фоновому уровню; на расстоянии 120 м – в 5-10 раз.

По данным Управления ГИБДД ГУВД по г. Москве на конец 2014 года в мегаполисе зарегистрировано свыше 4,6 млн транспортных средств (8,3% всех транспортных средств, зарегистрированных на территории Российской Федерации), из них 3,9 млн – легковые автомобили, 378,2 тыс. – грузовые автомобили, 47,9 тыс. – автобусы.

Учитывая вышесказанное, значительный интерес для исследования представляет разработка системы комплексного экологического мониторинга воздействия дорожно-транспортного комплекса на окружающую среду, включающей проведение системных наблюдений за различными компонентами окружающей среды и обработку результатов наблюдений, оценку состояния

объекта наблюдения и прогнозирование изменений состояния объекта наблюдения.

## **Физико-географическое районирование территории республики Мозамбик**

Кумбана А.Ж.

Научный руководитель – Закусиллов В.П.  
ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

Неотъемлемой частью прогностической деятельности инженера-метеоролога является учет местных физико-географических особенностей территории, для которой разрабатываются прогнозы. Для этого проводится физико-географическое районирование территории с учетом влияния зональных и аazonальных факторов.

Наиболее крупное зональное подразделение – географические пояса. Внутри их на суше выделяются географические зоны. В свою очередь зоны делятся на области.

По аazonальному признаку выделяются: физико-географический сектор, физико-географическая страна, физико-географический район.

При районировании учет зональных и аazonальных признаков производится путем чередования по мере уменьшения размера территории и увеличения детализации их: пояс – сектор – зона – страна – область – район.

В работе проведено физико-географическое районирование территории Республики Мозамбик. Используя тематические карты, исследуемую территорию следует отнести частично к субэкваториальному (северная половина территории) и тропическому (южная половина территории) климатическим поясам, к восточному приокеаническому сектору, к природной зоне саван и редколесий к физико-географическим странам: восточная Африка (северная половина территории) и южная Африка (южная половина территории).

Для выделения физико-географических областей и районов проведено исследование особенностей пространственно-временного температурного режима приземного слоя воздуха. В качестве исходного материала использовались среднемесячные значения температуры в узлах регулярной широтно-долготной сетки с шагом  $2,5^\circ$  в секторе с широтой  $10^0 - 25^0$  ю.ш.,  $30^0 - 42,5^0$  в.д., на изобарическом уровне 1000 гПа за период 1979–2014 гг. (по данным реанализа параметров атмосферы NCEP/DOE AMIP-II).

Анализ полей среднемесячных значений температуры воздуха, характерных для центральных месяцев сухого (январь) и влажного (июль) сезонов позволил сделать вывод, что в них имеются свои характерные особенности, проявляющиеся в значениях температуры и местоположении очагов с максимальными и минимальными значениями. В результате территория была разделена на три физико-географических области: северную, южную и центральную.

Исследование временного изменения температурного режима в узлах, расположенных в прибрежных и континентальных районах выделенных областей позволило сделать вывод, что в северной и средней областях для

континентальной части имеет место наличие двух максимумов температуры, что характерно для тропической зоны. В прибрежной части северной, центральной и во всей южной области наблюдается обычный ход температуры с одним максимумом и одним минимумом, что характерно для районов подверженных влиянию водных акваторий.

Таким образом, проведенный в работе комплексный анализ позволил выделить на территории республики Мозамбик пять физико-географических районов: северный континентальный и прибрежный, средний континентальный и прибрежный и южный прибрежный. Континентальные районы в целом характеризуются сухим и знойным жарким климатом (климат тропических пустынь), прибрежные районы характеризуются влажным жарким климатом.

### **Обоснование оценки вреда, наносимого разливами нефти окружающей среде**

Ларина К.А.

Научный руководитель – Мессинева Е.М.

МАИ, г. Москва

Обеспечение цивилизации энергией, в том числе добыча и транспортировка нефти и других энергоносителей, как и любая другая деятельность человека, приводит к негативному влиянию на окружающую среду. В результате может возникать значительное загрязнение нефтью и нефтепродуктами поверхности суши и акваторий, что является одной из важнейших экологических проблем России, как нефтедобывающей страны. Количество аварийных разливов нефти и утечек нефтепродуктов ежегодно увеличивается, поэтому данная проблема очень актуальна в Российской Федерации.

По данным энергетической службы межнезависимой экологической организации Гринпис, при попадании в почву всего 1 кубометра нефти потенциально возможная площадь загрязнения поверхностного слоя грунтовых вод может составить более 5 тыс. м<sup>2</sup>. Такие разливы на почве могут приводить как к мгновенной гибели живых организмов под нефтепленкой, так и к медленной деградации флоры и фауны. Попадание нефти в водоемы, являющиеся потенциальными водоисточниками, могут приводить к непригодности воды для употребления.

Регулирующий государственный орган – Росприроднадзор – располагает данными, предоставленными организациями и добывающими компаниями, о таких происшествиях и об устранении их последствий. По данным их официальной статистики, на территории России ежегодно происходит более 2 тыс. аварий, связанных с добычей нефти. Однако, по свидетельствам общественных экологических организаций, эти данные не являются объективными, поскольку показатели сильно занижены. Осложняет ситуацию также то, что понять, сколько выливается нефти на суше, невозможно, поскольку нефть, разлитая на поверхность суши, трансформируется, происходит испарение, мгновенное поглощение и фильтрация части компонентов нефти на поверхности почвы.

Больше всего нефти разливается при ее транспортировке – перекачке по трубопроводам. Наиболее распространенной причиной (около 90% случаев)

является прорыв трубы, вызванный коррозией и изношенностью. Другая причина - это механическое повреждение трубы, из-за несанкционированных врезок при краже нефти у государства или частных компаний.

Восстановление загрязненных нефтью земель - многоэтапный процесс, каждая стадия которого соответствует определенной последовательности естественной геохимической и биологической деструкции поступивших в почвы нефтяных углеводородов. В определенных случаях утверждаются проекты рекультивации земель и иных восстановительных работ, которые выполняются предприятиями, нанесшими вред окружающей среде вследствие загрязнения нефтепродуктами.

В настоящее время для оценки стоимости экологического вреда применяются нормативные подходы, основанные на Постановлении № 273 от 08.05.2007 и Методике, утвержденной приказом Минприроды РФ от 08.07.2010 № 238. Согласно этим документам, оценка вреда различным природным средам и объектам ориентирована на использование законодательно установленных стоимостных показателей и применение в расчетах фиксированных величин, что позволяет рассчитывать условный вред на основе круга зафиксированных стоимостных или натуральных показателей. Полученная величина взимается с предприятий, виновников загрязнения в денежном эквиваленте.

### **Дифференцированная двигательная активность – главное звено в подготовке космонавтов и лётчиков**

Лисовский И.А.

Научный руководитель – Боброва О.М.

МАИ, Ступинский филиал

В результате изучения и анализа специальной литературы по данной проблеме констатируем, что с первых дней проникновения человека в космос, началось всестороннее изучение его здоровья в условиях невесомости, а также изучения приспособительных реакций, изменения физиологических, биологических, психологических и других параметров пребывания человека в космосе.

Работа лётчиков и космонавтов имеет ряд профессиональных особенностей, по нестандартным физическим нагрузкам – это в первую очередь: перегрузки при быстром возрастании скорости движения аппарата, невесомость, перепады атмосферного давления, стрессы и т.д., и что наиболее опасно для экипажей дальней авиации и космонавтов – это большой недостаток движений (гипокинезия). Все это можно свести к минимуму или вообще избежать при помощи двигательной активности.

В предлагаемой работе даются советы и практические рекомендации о том, как сохранить и укрепить здоровье занимающихся, сконцентрировав особое внимание на вопросах дифференцированного подбора упражнений.

Упражнения, основанные на анатомическом признаке, где, прежде всего, выделяются упражнения для тех или иных суставов (суставных движений): лучезапястных, локтевых, плечевых, тазобедренных, коленных, голеностопных, суставов позвоночника (шейных, грудных, поясничных позвонков), суставов пальцев рук и ног; упражнения

различной интенсивности - в большинстве случаев они подразделяются на упражнения максимальной, субмаксимальной, высокой, средней, слабой интенсивности;

упражнения, воздействующие на различные системы функции организма (опорно-двигательный аппарат, органы дыхания, кровообращения, вестибулярный аппарат и др.).

Вестибулярная тренировка космонавта – комплекс мероприятий, повышающих устойчивость организма к воздействиям вестибулярных раздражителей. Особый раздел вестибулярной тренировки, дающий наибольший эффект – это тренировки на летательных аппаратах, в результате происходят следующие положительные сдвиги в организме человека: повышается способность удерживать равновесие, улучшаются показатели ориентировки в пространстве, подавляются неблагоприятные вестибулярно-негативные реакции.

Тренировка является универсальной программой, за счет объединения следующих методов: адаптационный метод, функциональный метод, терапевтический метод, реабилитационный метод.

Основная ценность дифференцированного подбора упражнений состоит в том, что дается возможность целенаправленного воздействия на отдельные мышцы и мышечные группы. Кроме того, имеется возможность строгой дозировки и учета выполненных физических упражнений, а также отражает реальные взаимодействия между факторами внешней среды, что и создает возможность для более совершенного приспособления организма к этой среде.

Дифференцированная двигательная активность – это реализация комплекса единой научно-обоснованной, медико-биологической и социально-психологической системы профилактических мероприятий.

В заключении отметим, что устранить негативные последствия гипокинезии и других отрицательных факторов можно лишь увеличением двигательной активности, что является основным звеном в подготовке экипажей дальней авиации и космонавтов.

## **Анализ экологического риска в прибрежной зоне Приморского края**

Лопяткина Ю.М.

Научный руководитель – Чвёрткин А.Г..

МАИ, г. Москва

Приморский край располагает уникальными природными и культурно-историческими ресурсами. Особенности геологического развития объясняют наличие топливно-энергетических, минерально-сырьевых ресурсов. Географическое положение, особенности рельефа и климата, обусловили наличие земельных, водных и гидроэнергетических, лесных и рекреационных ресурсов.

Приморский край с каждым годом все больше относят к перспективной территории для развития рекреационных комплексов. Отдых такого рода с одной стороны способствует восстановлению физических сил человека, с другой стороны приводит к негативным изменениям в окружающей среде.

Под рекреационным природопользованием понимается целостная система

отношений между человеком и природной средой, складывающихся в процессе освоения, использования, преобразования и воспроизводства природных ресурсов, для удовлетворения рекреационных потребностей общества.

Последнее время, вопросы, касающиеся защиты окружающей среды и сохранения биологического разнообразия особо актуальны в Приморском крае, в связи с наращиванием темпов развития экономики и непростой политической ситуации, складывающейся в мире.

Малоизученной остается проблема влияния природных и техногенных факторов риска и угроз экологической безопасности при организации отдыха и туризма в прибрежно-морской зоне Приморского края.

Причинами возникновения угроз экологической безопасности в Приморском крае при организации отдыха и туризма могут стать стихийные явления природы (цунами, тайфуны, наводнения), биотические факторы воздействия (загрязнения природно-очаговыми заболеваниями, укусы ядовитых змей и медуз), нападение акул. Также прямое влияние на окружающую среду и косвенное на здоровье человека оказывает антропогенное загрязнение пляжей твердыми бытовыми отходами (ТБО).

Обычно для хранения ТБО используют полигоны разных типов:

- Крупные (площадь превышает 16 га);
- Средние (площадь составляет 4-16 га);
- Мелкие (площадь не превышает 4 га).

Для обеспечения экологической безопасности в прибрежных зонах Приморского края автор предлагает принять следующие меры: внедрение системы обращения с отходами, на основе разделения сбора ТБО; контроль за санитарным и инфраструктурным состоянием пляжных зон; развитие альтернативных видов природно-ориентированного туризма, таких как экологический и этнический. Также необходимо регулярно проводить мониторинг возможных природных и антропогенных воздействий на картографической основе.

Автор считает, что принятые меры позволят в большей степени обеспечить безопасность морской рекреации в Приморском крае.

### **Подсистема дистанционного мониторинга сложных метеорологических условий полетов на базе комплексов с ДПЛА**

Максименко А.В.

Научный руководитель – Расторгуев И.П.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

Являясь одним из важнейших элементов воздушной обстановки, метеорологические условия оказывают влияние на полет летательных аппаратов на любом из его этапов от взлета до посадки. Опасные явления погоды опасны не только для производства полетов, но и угрожают последствиями наземной инфраструктуре. От их правильной оценки, четкой организации метеорологического обеспечения полетов, умения руководящего и летного состава принимать правильные решения в сложных условиях погоды во многом зависит эффективность полетов авиации и их безопасность.

Одной из актуальных задач метеорологии является выявление опасных метеорологических явлений, связанных с зонами активной конвекции (ливней, гроз, града, шквалов), исследование их повторяемости, условий возникновения и прогнозирования. Актуальность решения этой задачи подтверждают фактические данные об ущербе, причиняемом авиации и отраслям экономики конвективными опасными метеорологическими явлениями.

Особую сложность в оценке фактического и ожидаемого состояния погоды представляет значительная дискретность метеорологических и аэрологических наблюдений во времени и пространстве. Перспективным направлением решения данной проблемы является комплексное использование систем дистанционного мониторинга атмосферы интегрального покрытия пространства с различной степенью охвата и детализации данных.

По результатам проведенных исследований, базирующихся на физико-статистическом, синоптическом, графоаналитическом, картографическом методах и методе экспертных оценок, разработана методика комплексного использования данных дистанционного зондирования атмосферы на основе трехуровневой модели. Первый сегмент – метеорологические орбитальные спутники. Второй сегмент – системы дистанционного зондирования наземного базирования в сантиметровом и миллиметровом диапазоне (метеорологические радиолокационные станции). Третий сегмент представляет собой Подсистему дистанционного мониторинга сложных метеорологических условий полетов на базе комплексов с дистанционно пилотируемыми летательными аппаратами.

Спектр беспилотных носителей метеорологической целевой нагрузки достаточно широк: от микро до стратегических. Однако в результате проведенного исследования было определено, что оптимальными по соотношению результативности к затратам являются комплексы с БЛА малого класса. Они позволяют при эксплуатационной и экономической доступности получать данные, удовлетворяющие большинство запросов потребителей метеоинформации. Наиболее эффективно применение технологий данной подсистемы при детализации структуры нижней границы облачности (ВНГО), пространственно-временного распределения явлений погоды и дальности видимости в подоблачном слое, а также условий полета в нижней части облака.

Для практической апробации указанных теоретических положений был выполнен летный эксперимент по измерению ВНГО с ДПЛА с целью отработки методики получения данных о метеорологических условиях полетов и определения целесообразности использования ДПЛА для этих целей. Из полученных данных следует вывод о существенной пространственно-временной детализации мониторируемых параметров облачности по сравнению с другими способами наблюдений, из чего можно сделать вывод о целесообразности использования ДПЛА самолетного и вертолетного типа для мониторинга погодных условий в интересах различных ведомств.

## **Обоснованный выбор технических средств для восстановления ресурсного потенциала наземных экосистем с высокой сельскохозяйственной нагрузкой**

Моторин А.О.

Научный руководитель – Лукиенко Л.В.

ТГПУ им. Л.Н. Толстого, г. Тула

В настоящее время наиболее актуальными задачами является окультуривание полей, заросших мелкоколесем.

Для срезания кустарника применяются кусторезы отечественного производства: кусторез навесной КН-2 (СГАУ) с активными рабочими органами, предназначенный для срезания кустарника и одиноко стоящих деревьев толщиной ствола до 120 мм на обочинах автомобильных дорог и на откосах с шириной захвата полосы окашивания 1300 мм. Высота среза после обработки 40-100 мм. Кусторез агрегируется с тракторами МТЗ, ЮМЗ и другими тракторами до третьего тягового класса; кусторез Д-514 с пассивным рабочим органом. Кусторез срезает кустарник и раскалывает отдельные деревья с диаметром ствола до 300 мм. При срезке деревьев кусторез расшатывает оставшиеся в грунте пни, облегчая последующую работу корчевателей. Ножи кустореза нельзя заглублять в почву, так как они быстро затупляются и начинают не срезать, а срывать дерновой покров, ухудшая тем самым условия для последующего сбора древесной массы. При срезке древесины на высоте более 2 см от поверхности почвы стволы прогибаются и тем самым ухудшается качество срезки и самой работы. Кусторез хорошо срезает (раскалывает) деревья и пни (свежей рубки) диаметром до 250–300 мм, а при старой рубке – диаметром до 350–400 мм. Кусторез практически может работать в любое время года. Кустарник и деревья небольшого диаметра (150–200 мм) кусторез срезает за один проход, а деревья диаметром 300–400 мм кусторез раскалывает и срезает с противоположных сторон за два-три прохода. Кусторез Д-514 является сменным навесным оборудованием к трактору Т-100 МГП мощностью 108 л.с. и другие. После срезания кустарниковую растительность сволакивают на окраину плантации для дальнейшей переработки, либо измельчают на месте агрегатами типа МСН 180. Этот агрегат представляет собой прицепной измельчитель древесных отходов на легковом полуприцепе с ручной или гидравлической подачей материала и приводом от собственного дизельного двигателя мощностью 31,5 кВт. Максимальный диаметр перерабатываемого материала 180 мм, производительность от 5...25 м<sup>3</sup>/ч, регулировка длины щепы 9...13 мм. Переработанная непосредственно на поле щепы в дальнейшем служит мульчирующим слоем или органическим удобрением.

Крупные пни диаметром свыше 350 мм выкорчевывают в несколько приемов с разных сторон. Для корчевания пней и их транспортировки за пределы участка на расстояние до 50 м применяют корчеватель Д-496А, производительностью до 30 шт/час, шириной захвата 1,38 м, с четырьмя корчевальными клыками, при диаметре корчюемых пней 30-40 см, навешиваемый на трактор Т-100. Крупные пни корчуют машинами К-1А и К-2А, навешиваемыми на трактор Т-100-М или Т-100. После того как почва на корнях выкорчеванных пней обсохнет, ее отряхивают, используя два гусеничных трактора, между которыми на

расстоянии 25...30 м. натягивают тросы – один длиной 40...45 м, другой – 60 м. При движении тракторов выкорчеванные пни перекатываются тросами и освобождаются от земли. Обычно требуется несколько проходов тракторов. Затем пни собирают в валы, сжигают или вывозят за пределы участка.

Литература.

Доклад об экологической ситуации в тульской области за 2014 год. Министерство природных ресурсов и экологии Тульской области. Тула, Тула, 2014.

Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, М., 2011, 162 с.

Р. А. Смирнов. Культуртехнические работы по восстановлению запущенных сельскохозяйственных земель, с. 103-110.

### **Управление техносферной безопасностью при производстве авиационно-космической техники**

Мочалова С.М.

Научный руководитель – Воробьева С.С.

МАИ, г. Москва

Авиационно-космическая деятельность во многом способствует росту промышленно-экономического потенциала страны, развитию научной, культурной и социальной сфер, а также обеспечивает безопасность страны. Но предприятия по производству авиационной и космической техники вносят большой вклад в загрязнение природной среды. На данный момент в России существует более 300 заводов по производству авиационной и ракетно-космической техники.

Обеспечение безопасности окружающей среды почти всегда неразрывно связано с решением задач по охране природной среды.

Деятельность любого предприятия сводится к переработке подаваемого на вход системы сырья и его преобразованию в продукцию. Этот процесс всегда сопровождается образованием «отходов» – веществ, которые выделяются в воздух, в воду и образуют твердые отходы.

В соответствии с современным законодательством любое предприятие или организация, занимающаяся хозяйственной деятельностью, обязана разработать систему инженерно-технической документации, отражающей характер и уровень экологической опасности выполняемой деятельности, а также нормативные значения техногенных факторов воздействия. На предприятии, отношения регулируются Федеральным законом «Об охране окружающей среды», Законом РФ от 27.11.1992 «Об организации страхового дела в Российской Федерации» и прочими нормативными документами.

Требования промышленной безопасности находят закрепление в форме технических регламентов, экологических нормативов и иных обязательных требований, обеспечивающих промышленную безопасность объекта (в соответствии с Федеральным законом от 27.12.2002 № 184 - "О техническом регулировании").

Традиционно при обеспечении экологической безопасности (ЭБ) на предприятиях основное внимание уделяется техническим и технологическим аспектам, однако, для повышения уровня ЭБ производства технических и технологических решений, на практике, оказывается недостаточно. Больше внимание стоит уделить организационно-управленческим вопросам обеспечения ЭБ, которые находят свое выражение в системе управления, стилях и методах руководства.

Для управления охраной окружающей среды созданы отделы охраны природы (охраны окружающей среды) либо их функции выполняет какое-либо подразделение предприятия (например, отдел главного механика). Во всех случаях негативные воздействия на атмосферу, гидросферу и почвы должны ограничиваться и необходимо вести постоянный производственный контроль за состоянием этих сред. В решении многообразных задач в сфере охраны труда принимают непосредственное участие руководители предприятия, структурных подразделений, функциональных служб, отдела охраны труда, профсоюзные комитеты. В эту работу вовлекаются практически все работники предприятия от директора до рабочего.

В данной работе проведен анализ современных систем менеджмента, форм организации, стратегий и структур управления экологической безопасностью на предприятиях авиационно-космической промышленности, рассмотрены меры по совершенствованию системы управления ЭБ, включая возможность интегрирования СУЭБ в общую организационную структуру управления с рассмотрением преимуществ и недостатков.

### **Анализ основных методов очистки нефтесодержащих сточных вод**

Мурин Д.А.

Научный руководитель – Дмитренко В.П.

МАИ, г. Москва

Нефтепродукты являются одними из наиболее распространенных антропогенных загрязнителей поверхностных водоемов и водотоков, а в некоторых регионах также и подземных источников питьевого водоснабжения. Они попадают в окружающую среду в результате сброса неочищенных и недостаточно очищенных нефтесодержащих сточных вод, техногенных аварий, вследствие неорганизованного отвода ливневого и талого стоков с территорий, загрязненных различными нефтепродуктами и маслами.

Основным способом очистки сточных вод предприятий хранения и переработки нефтепродуктов, а также сточных вод других промышленных предприятий является применение устройств механической очистки, таких как нефтеловушки, буферные резервуары, песколовки, принцип работы которых основан на отстаивании. Использование данных устройств позволяет понизить остаточное содержание нефтепродуктов до концентраций 50–300 мг/л в зависимости от дисперсности частиц нефтяной эмульсии. Однако, согласно требованиям нормативных документов, содержание нефтепродуктов в сточных водах должно составлять не более 0,1–0,3 мг/л. Достичь таких показателей возможно только с использованием физико-химических или биологических методов.

В данной работе рассмотрены и проанализированы основные методы очистки нефтесодержащих сточных вод, а также их основные преимущества и недостатки.

Наиболее распространенными методами очистки сточных вод от нефтепродуктов являются механические методы, которые позволяют очистить сточные воды от грубодисперсных примесей, очищая бытовые сточные воды на 60-65%, а некоторые промышленные сточные воды на 90-95%. При этом задача механической очистки заключается в подготовке воды к физико-химической, химической, и биологической очисткам. Механическая очистка сточных вод является самым дешевым методом.

Физико-химические и биологические методы позволяют очистить нефтесодержащие сточные воды от тонкодисперсных частиц и имеют ряд преимуществ над механическими методами, наиболее важный из которых – высокая степень очистки. При этом указанные методы очистки обладают своими собственными преимуществами и недостатками. Так, физико-химические методы позволяют достичь более высокой степени очистки при малых размерах сооружений, зато биологические методы позволяют очистить сточные воды от токсичных соединений, имея при этом более низкие эксплуатационные затраты.

К преимуществам биологических методов очистки относят возможность удалять из сточных вод разнообразные органические соединения, в том числе токсичные, простота конструкции аппаратуры, а также относительно невысокая эксплуатационная стоимость. К недостаткам следует отнести высокие капитальные затраты, необходимость строгого соблюдения технологического режима очистки, токсичное действие на микроорганизмы некоторых органических соединений и необходимость разбавления сточных вод в случае высокой концентрации примесей.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что для каждого частного случая (состав сточных вод, необходимая степень очистки, эксплуатационные затраты и т.д.), в зависимости от поставленных задач, необходимо подбирать свою, индивидуальную систему очистки нефтесодержащих сточных вод, комбинируя основные методы очистки.

Выбор того или иного метода очистки (или нескольких методов) производят с учетом санитарных и технологических требований, предъявляемых к очищенным производственным сточным водам с целью дальнейшего их использования, а также с учетом количества нефтесодержащих сточных вод и концентрации загрязнений в них, наличия необходимых материальных и энергетических ресурсов и экономичности процесса.

## **Проблемы утилизации отходов доменного производства**

Науменков А.А.

Научный руководитель – Мануйлова Н.Б.

МАИ, г. Москва

Все известные технологические процессы, производства чугуна, стали и их последующего передела сопровождаются образованием больших количеств отходов в виде вредных газов и пыли, шлаков, шламов, сточных вод, содержащих различные химические компоненты, скрапа, окалины, боя

огнеупоров, мусора и других выбросов, которые загрязняют атмосферу, воду и поверхность земли.

В доменном производстве выделяются дополнительно сероводород и оксиды азота, в прокатном – аэрозоли травильных растворов, пары эмульсий и оксиды азота. Наибольшее количество выбросов – в коксохимическом производстве. Здесь кроме перечисленных загрязнителей можно отметить пиридиновые основания, ароматические углеводороды, фенолы, аммиак, 3-4-бензопирен, синильную кислоту и др.

На долю предприятий черной металлургии приходится 15-20% общих загрязнений атмосферы промышленностью, что составляет более 10,3 млн. т вредных веществ в год, а в районах расположения крупных металлургических комбинатов – до 50% [1].

В среднем на 1 млн. т годовой продукции заводов черной металлургии выделение составляет, т/сутки: пыли - 350, сернистого ангидрида – 200, оксида углерода – 400, оксидов азота – 42 [2].

Доменное производство характеризуется образованием большого количества доменного газа ( $\approx$  2-4 тыс. м<sup>3</sup> /т чугуна). Этот газ содержит оксиды углерода и серы, водород, азот, некоторые другие газы и большое количество колошниковой пыли (до 150 кг/т чугуна). Пыль содержит окислы железа, кремния, марганца, кальция, магния, частицы шихтовых материалов.

Степень оснащения основных технологических агрегатов газоочистными установками составляет ок. 70%. Часть действующих установок (ок. 15%) работает неэффективно [3]. Таким образом, около 40% газов от агрегатов поступают в атмосферу практически без очистки.

Однако, как показала практика, пылегазовыделение можно значительно сократить путем их подавления и локального отсоса, а также осуществления ряда мероприятий технологического и планировочного характера. В первую очередь следует внедрять малоотходную технологию, позволяющую значительно уменьшить нагрузку на газоочистные аппараты и тем самым повысить эффективность их работы, а иногда и обойтись без их установки.

Список использованной литературы

Дикань В.Л., Дейнека А.Г., Позднякова Л.А., Михайлов И.Д., Каграманян А.А. Основы экологии и природопользования. Учебное пособие. – Харьков: ООО «Олант», 2009.- 384 с.

Большина Е.П. Экология металлургического производства: Курс лекций. – Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2012. – 155 с.

Халаимова, И.В. Снижение пылевых выбросов при производстве кокса /И.В. Халаимова, В.В. Кочура //Материалы XXI Всеукраинской научной конференции аспирантов и студентов «Охрана окружающей природной среды и рациональное использование природных ресурсов». Т.2 – Донецк, ДонГУ, 2010. с.168-169.

## **Исследование термических сопротивлений индивидуальных средств защиты от холода**

Нягулов М.Р.

Научный руководитель – Хромова И.В.

НГТУ, г. Новосибирск

В настоящий момент одной из актуальных задач является разработка физико-математических моделей биологических систем. Подобные модели позволяют проводить комплексные исследования в области разработки систем жизнеобеспечения, определять границы проводимых экспериментов и создавать модельные тренажеры для отработки экстремальных ситуаций, связанных с переохлаждением и перегревом человека, таких как переохлаждение при аварийной посадке в условиях севера, переохлаждение при приводнении или работе в гидробассейне.

Активную роль в защите человека от холода играет поведенческая терморегуляция, которая заключается в активном, целенаправленном регулировании термической нагрузки на организм. Большое значение имеет одежда, теплофизические параметры которой обеспечивают должную защиту от охлаждения всех участков поверхности тела человека в соответствии с конкретными условиями его трудовой деятельности. Одежда должна удовлетворять комплексу требований, часто не совместимых друг с другом: малая масса и высокие теплозащитные свойства; малая воздухопроницаемость и достаточная влагопроницаемость. Одежда должна защищать человека от внешней влаги и не препятствовать удалению влаги с поверхности тела, защищать от охлаждения в состоянии покоя и не вызывать перегрева при выполнении интенсивной физической работы. Целью настоящей работы является исследование влияния термических сопротивлений различных материалов защитной одежды на процессы теплообмена в системе «человек – тепловая защита – окружающая среда».

В проведенных ранее исследованиях установлены основные закономерности теплообмена в расчетных элементах и слоях системы термостабилизации человека, с учетом внутренних источников тепла и конвективного переноса тепла теплоносителем в широком диапазоне температур для холодной и горячей сред. Данная методика позволяет определять значения суммарных тепловых потоков и их отдельных составляющих, среднемассовые температуры и температуры на границах слоев расчетных элементов, а так же термические сопротивления расчетных слоев.

В настоящей работе собран материал и выполнен анализ теплофизических свойств материалов, используемых при создании одежды для защиты от переохлаждения. Представлены результаты расчетов и проведен сравнительный анализ эффективности различных материалов для защиты человека от переохлаждения в воде и воздухе в широком диапазоне свойств окружающей среды. Проведена проверка достоверности в сравнении с известными экспериментальными и расчетными данными.

Полученные результаты дают возможность получить дополнительный объем информации об особенностях охлаждения организма человека, а также

подобрать оптимальные параметры и повысить эффективность индивидуальных средств защиты от холода.

Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ № 16-38-00257.

## **Служба геолокации как решение проблемы оповещения и оперативного информирования граждан о ЧС**

Орлов Г.З.

Научный руководитель – Чвёрткин А.Г.

МАИ, г. Москва

Человечество постоянно наращивает темпы своего интеллектуального, технического совершенствования, потому и развитие современного мира происходит такими же быстрыми темпами. Каждый день учёные делают научные открытия, опровергают и доказывают существование различных явлений. Недавно американскими учёными были зафиксировано и доказано существование гравитационных волн.

За последние 100 лет был достигнут огромный научный прогресс. Но человечество до сих пор не защищено от обычных природных явлений. Ежедневно случаются несчастные случаи. Люди умирают от обычных ударов молний, наводнений, землетрясений и т.п., а число погибших и пострадавших всё растёт и растёт.

Анализ статистических показателей природных катаклизмов в гидросфере, на примере цунами и наводнений, показывает на наличие устойчивой тенденции увеличения числа и масштабов природных катаклизмов в водной среде нашей планеты. На это, в частности, указывают прямолинейные тренды цунами и наводнений.

Молния является красивым и вдохновляющим явлением природы, однако также она может быть смертельно опасной. Статистика последних 30 лет говорит о том, что в результате удара молнии погибает 67 человек ежегодно, в одних только Соединенных Штатах. Однако большинство этих смертей можно было бы предотвратить. Хотелось бы избежать подобных случаев в современном и будущем мире.

В России есть множество научных исследовательских центров, занимающихся мониторингом, моделированием и прогнозированием опасных природных явлений. В чём же причина несчастных случаев, когда есть полная информация о возникновении предшествующего опасного природного явления?

По мнению автора, причиной является проблема оповещения и оперативного информирования граждан о ЧС. Как же решить эту проблему? У каждого человека есть телефон или смартфон, которые оснащены службой геолокации. Служба геолокации передаёт диспетчеру сведения о местоположении, используются данные GPS, а также сетей сотовой связи или Wi-Fi (в России же, может быть задействована глобальная навигационная спутниковая система – ГЛОНАСС). Находясь в зоне возникновения опасного природного явления, заранее на смартфон, приходит уведомление с информацией о наступающей опасности. Таким образом, можно будет избежать огромного количества жертв, и не только от опасных природных явлений.

Данная служба широко используется в США, автором была на практике проверена эффективность работы данной системы.

## **Средства спасения очень лёгких самолётов**

Погорелая Е.С.

Научный руководитель – Карапетян Т.С.

МАИ, г. Москва

В мировой практике эксплуатации очень легких самолетов (ОЛС) уже становится привычным комплектование этих воздушных судов быстродействующими парашютными системами (БПС) спасения, которые в аварийной ситуации обеспечивают безопасное приземление экипажа вместе с ВС.

Интенсивное развитие авиации - увеличение темпов роста использования сверхлегких ВС, аэротакси, самолетов "бизнес-класса" создала предпосылки для создания и внедрения парашютных средств спасения для ВС вместе с экипажем. Этому способствовали следующие основные факторы:

- сравнительно невысокие полетная масса и скорость полета аппарата, позволяющая применять парашютные системы малой массы и объема, имеющие невысокую стоимость разработки и серийного образца;
- высокий уровень парашютной техники и технологий, применяемых текстильных материалов нового поколения, имеющих высокую удельную прочность, схем введения их в действие; использование элементов конструкции и опыта применения в средствах спасения экипажей военных ВС, таких как катапультные кресла и отделяемые кабины.

Появление и применение БПС выявило ряд дополнительных положительных качеств, таких как:

- - исключение из схемы спасения этапа покидания кабины и отделения от самолета людей, что также, и существенно, уменьшает требуемое время и, как следствие, минимально-безопасную высоту с момента принятия решения до момента срабатывания парашюта;
- - более комфортные и безопасные для людей условия (физическая и психическая переносимость) при введении в действие, снижении и приземлении, т.к. у людей нет необходимости покидать ВС и обеспечивать свое приземление;
- - воздушное судно при приземлении гасит часть энергии, за счет сминания и деформации конструкции, после возможного ремонта и проверок может быть введено в строй. Следует отметить, что за счет спуска ВС на БПС значительно снижается вероятность причинения материального и человеческого ущерба, т.к. ВС не покидается пилотом и не падает бесконтрольно с высокой скоростью;
- - нет необходимости тратить ресурсы на проведение индивидуальной парашютной подготовки, приобретать спасательные парашюты индивидуального пользования.

Возможность и необходимость парашютного спасения экипажа, пассажиров вместе с ВС, а также постоянная актуальность проблемы уменьшения времени введения в действие парашюта привели к созданию, теперь уже можно сказать,

отдельного вида парашютной техники - быстродействующих парашютных систем спасения (БПС) ВС. Характерным для них является уменьшение времени этапа вытягивания парашютной системы за счет применения ускорителей принудительного вытягивания.

## **Информационно-аналитическая система обеспечения экологической безопасности районов ракетно-космической деятельности**

Поляков А.В.

Научный руководитель – Воробьева С.С.

МАИ, г. Москва

Обеспечение экологической безопасности районов РКД следует рассматривать как чрезвычайно сложный комплекс мер, средств и устройств, эффективность взаимодействия которых определяет полную меру защищенности окружающей среды в том или ином районе, где ведётся антропогенная деятельность, связанная с освоением космоса. Именно поэтому требуется детальное обозрение всех аспектов создания и функционирования информационно-аналитических систем (ИАС), ведущая роль в разработке которых принадлежит ЦНИИмаш. Эти системы отвечают за предупреждение и ликвидацию последствий экологического воздействия в районах РКД.

В работе представлен комплексный обзор всех аспектов организации и работы подобных информационно-аналитических систем и всех средств экологической безопасности, которые они в себя включают.

Информационно-аналитическая система - это сложный механизм, состоящий из расчётно-методических модулей и таблиц баз данных, в заданном режиме выполняющих сбор, анализ и хранение информации о состоянии окружающей среды. Создание такой системы является приоритетной задачей для начала обеспечения экологической безопасности района РКД, в связи с чем появляется ряд проблем, таких как разработка и внедрение необходимого аналитического оборудования, создание геоинформационной системы и разработка программного обеспечения.

Информационно-аналитическая система подразумевает под собой полный анализ доступных сведений, из чего следует необходимость проводить этот анализ наземными, воздушными и космическими средствами анализа. Для этого создаётся система экологического мониторинга и контроля (СЭМК), необходимая для обеспечения непосредственного взаимодействия средств наблюдения всех сфер воздействия РКД на окружающую среду. Также СЭМК учитывает все требования, предъявляемые к методике анализа всех сфер атмосферы и подстилающей поверхности.

Противодействие химическому воздействию на почву и воду в районах трасс РКД, противодействие загрязнению атмосферы, а также акустическому, световому и радиоактивному воздействию на окружающую среду - вот вся сфера деятельности ИАС. Приведённые в пример методы воздействия являются не только последствием аварий на объектах космической деятельности, но и последствием штатной работы космодромов. Минимизация этого воздействия также является сферой деятельности ИАС.

Для полного охвата всех функций и обязанностей информационно-аналитической системы рассматриваются пять конкретных блоков, каждый из которых является сферой деятельности системы. Это: анализ исходных данных, мониторинг воздействия РКД на ОПС, оценка и контроль этого воздействия, прогноз и подтверждение последствий, а также принятие окончательных решений.

На основе сведений, получаемых от информационно-аналитических систем, рассмотренных в данной работе, в настоящее время осуществляется обеспечение экологической безопасности на объектах РКД. Зная об устройстве и организации этой системы, можно делать предположения касательно развития средств экологической безопасности в будущем.

### **Энергетический мониторинг экологической безопасности с использованием инновационных подходов**

Попова Е.

Научный руководитель – Свиридова Е.Ю.

МГМУ (МАМИ), г. Москва

Новые подходы к мониторингу экологической безопасности приобретают особую актуальность при выявлении реальной и потенциальной опасности для здоровья населения уровня загрязнения среды обитания. Критерием качества окружающей среды, определяющим состояние здоровья населения, должен быть комплексный показатель антропогенной нагрузки, который складывается из наиболее значимых факторов негативного воздействия. В настоящее время при проведении экологического мониторинга в основе оценки качества окружающей среды должны лежать два взаимосвязанных аспекта: комплексная характеристика городской среды и влияние состояния среды на здоровье человека.

Рациональным является переход к новой парадигме в проведении и оценке данных экологического мониторинга на основе принципов комплексности и интенсиметрии при определении воздействия физических факторов, а также принципов тестирования экологической безопасности методом *in vitro*. Это будет способствовать переходу от констатациистораживающих показателей роста эрозависимых заболеваний, в том числе и среди детского населения, к выявлению зон повышенной экологической опасности городской среды и наиболее значимых факторов негативного воздействия. Что в свою очередь позволит наиболее эффективно сосредоточить средства на разработке и проведении эффективных мероприятий по подавлению наиболее значимых неблагоприятных факторов и улучшению качества среды обитания.

Авторы предлагают проводить экологический мониторинг инфразвуковых и низкочастотных электромагнитных полей на основе определения энергетических параметров. Целесообразным является определение интегрального энергетического низкочастотного воздействия, что позволит объективно оценить общий уровень различных видов физических полей в рассматриваемой точке пространства в заданный момент времени и их негативное влияние на биологические объекты.

Исследование интегрального энергетического низкочастотного воздействия будет способствовать объективной оценке негативного влияния электромагнитных и инфразвуковых полей на биологические объекты, а также решать принципиально новые задачи по повышению экологической безопасности городских территорий и защите населения от воздействия этих факторов.

При одновременном воздействии инфразвуковых и низкочастотных электромагнитных факторов (а также других физических факторов) необходимо провести исследования *in vitro* для определения взаимного влияния полей на биологический объект и разработать новые нормативы, регламентирующие воздействие этих факторов на человека, производственную среду и жилые территории. Биочиповые технологии являются наиболее перспективными для проведения подобных исследований. Микробиореакторы, в которых функционируют миниатюрные клеточные модели различных органов и тканей человеческого тела, позволяют оценивать воздействие различных факторов на уменьшенной модели и получить информацию об их влиянии на реальный человеческий организм.

Предлагаемый инновационный подход к проведению и оценке результатов мониторинга помогут выявить территории с повышенной экологической опасностью с учетом комплексного воздействия негативных факторов на здоровье населения, а также разработать наиболее эффективные методы защиты.

### **Терроризм: меры по предупреждению**

Савельева М.А., Яровая М.Н.

Научный руководитель – Белов П.Г.

МАИ, г. Москва

В последние десятилетия одним из способов публичного выражения какого-либо недовольства в крайне экстремальных и жестоких формах причинения социально-экономического ущерба стало явление, называемое терроризмом. Выбор данной формы проявления социального неблагополучия обусловлен широким общественным резонансом соответствующих актов благодаря повышенному вниманию к ним со стороны современных средств массовой информации.

В настоящее время терроризм стал более безжалостным, особенно, если это взрывы в публичных местах, захват государственных учреждений, посольств, самолетов. Сегодня Россия входит в первую десятку стран с самым высоким уровнем террористической угрозы.

Современный терроризм – это серии разнообразных террористических акций, направленных против широкого круга лиц и объектов, тщательно подготовленные и осуществляемые квалифицированными кадрами и хорошо организованными группировками. При этом наблюдается резкий количественный рост террористических актов с многочисленными жертвами и значительными материальными потерями, а также объединение усилий отдельных экстремистских формирований и криминальных структур на международном уровне для достижения своих политических целей.

Оповещение населения об установлении, изменении или отмене уровня террористической опасности и сроке, на который он устанавливается, осуществляется через средства массовой информации и сеть телекоммуникаций, а именно: сети телерадиовещания; интернет-ресурсы; сотовую связь; печатные издания. Информация об уровне террористической опасности может быть также наружной и размещаться в виде плакатов, стендов, световых табло и рекламных щитах. Любой человек должен точно представлять свое поведение и действия в экстремальных ситуациях, психологически быть готовым к самозащите.

Сообщение граждан правоохранительным органам о ставших известными им сведениях о террористической деятельности и о любых других обстоятельствах, информация о которых может способствовать предупреждению, выявлению и пресечению террористической деятельности, а также минимизации её последствий, является гражданским долгом каждого. Подтверждением тому является Федеральный закон «О борьбе с терроризмом» определяет права и обязанности граждан в связи с осуществлением борьбы с терроризмом.

Авторами подготовлены предложения, направленные на снижение последствий террористических актов благодаря оперативному информированию о соответствующих признаках и заблаговременной подготовке граждан к рациональным действиям в таких чрезвычайных ситуациях.

### **Разработка рекомендаций по повышению безопасности мест общественного питания**

Сакова М.О.

Научный руководитель – Чвёрткин А.Г.

МАИ, г. Москва

Общественное питание представляет собой отрасль народного хозяйства, основу которой составляют предприятия, характеризующиеся единством форм организации производства и обслуживания потребителей и различающиеся по типам, специализации.

В современных реалиях, когда каждый человек куда-то торопится и бежит, предприятия общественного питания являются весьма популярными. Это можно объяснить вечной нехваткой времени. На самом же деле так ли безопасно является посещение так называемых «фаст-фудов»?

Соблюдаются ли там все условия хранения продуктов, а так же их товарное соседство? Можно ли быть уверенным в том, насколько санитарные условия того или иного заведения соответствуют всем стандартам? Прошло ли предприятие обязательную сертификацию?

Существуют рекомендации по сертификации услуг общественного питания согласно положений законов РФ "О защите прав потребителей", "О сертификации продукции и услуг".

Деятельность предприятия независимо от форм собственности по предоставлению услуг общественного питания подлежат обязательной сертификации. Ответственность за предоставление услуг без сертификатов, подтверждающих их безопасность, предусмотрена ст. 43 п. 2 закона "О защите прав потребителей".

Для обеспечения проведения работ по обязательной сертификации услуг питания внесённых в "Номенклатуру продукции и услуг, подлежащих обязательной сертификации" разработаны и введены в действие основополагающие стандарты:

- ГОСТР 50762-95. "Общественное питание. Классификация предприятий";
- ГОСТР 50763-95. "Общественное питание. Кулинарная продукция, реализуемая населению";
- ГОСТР 50764-95. "Услуги общественного питания. Общие требования".

Обязательная сертификация услуг общественного питания (УОП) осуществляется на соответствие требованиям безопасности для жизни и здоровья граждан, охраны окружающей среды, установленным в законодательных актах, государственных стандартах России, Санитарных правилах и нормах, Строительных нормах и правилах, Правилах производства и реализации продукции и услуг общественного питания, утверждённых Постановлением 332 Правительства РФ от 13.04.93 и др. документах, которые в соответствии с законодательством РФ устанавливают обязательные требования к услугам. При этом проверяются характеристики (показатели) услуг, условия обслуживания и используются методы, позволяющие:

- полно и достоверно подтвердить соответствие услуг требованиям, обеспечивающим безопасность для жизни и здоровья граждан, окружающей среды;
- провести идентификацию услуг, в том числе кулинарной продукции;
- проверить принадлежность предприятия к классификационной группировке, соответствие нормативно-техническим документам.

Таким образом, автором был проведен анализ различной нормативно-правовой базы в сфере предоставления услуг общественного питания и сделан вывод о том, что следует повысить доступность данного типа информации (наличие сертификатов) при посещении людьми мест общественного питания.

## **Совершенствование способа стабилизации активного ила**

Сапрыкин Е.Н.

Научный руководитель – Семенов В.В.

МАИ, г. Москва

Данная работа посвящена совершенствованию метода стабилизации избыточного активного ила, применяемого при биохимической очистке бытовых сточных вод. В процессе биохимической очистки бытовых сточных вод во вторичных отстойниках образуются большие массы осадка, в котором находится, в основном, избыточный активный ил. Иловые осадки представляют собой большую проблему, т.к. отсутствуют надежные технологии, позволяющие полностью их обезвредить.

Активный ил – сложное сообщество микроорганизмов различных групп и некоторых многоклеточных животных. Активный ил биологических очистных сооружений формируется под влиянием химического состава обрабатываемой сточной воды, растворенного в ней кислорода, температуры и рН. По внешнему

виду активный ил представляет собой хлопья светло-серого, желтоватого или темно-коричневого цвета, густо заселенные микроорганизмами. Окисляя органические вещества (загрязнения сточных вод), активный ил размножается и избыток его нужно выводить и утилизировать.

Суть процесса стабилизации избыточного активного ила заключается в разрушении биологически разлагаемой части избыточного активного ила в аэробных условиях за счет подвода к активному илу кислорода путем подачи в отстойник дополнительного воздуха. При этом оставшаяся часть активного ила становится неспособным к загниванию, то есть стабилизируется.

Известные решения по стабилизации избыточного активного ила, предусматривающие обезвоживание с помощью химических реагентов, отличаются большим расходом химикатов (до 30 % от веса ила) и наносят вред окружающей среде. Для обезвоживания осадков используются также большие иловые площадки, эксплуатация которых сопровождается разложением осадка, приводящего к загрязнению атмосферы, подземных вод и почвы токсичными веществами. В результате отсутствия обработки из года в год отмечается рост объемов избыточного активного ила, создающего угрозу вторичного загрязнения окружающей среды.

В настоящее время внедрен аэробный способ стабилизации избыточного активного ила путем подсоса воздуха с помощью эжектора, у которого основным эжектирующим потоком является вода, содержащая активный ил. Однако из-за плохого смешения внутри эжектора двух струй (воздуха и воды) активный ил плохо разлагается и не выпадает в осадок. Совершенствование метода стабилизации избыточного активного ила заключается в использовании внутри эжектора турбулизаторов потока воды. Турбулизаторы представляют собой отрезки стальных уголков, установленных острым концом навстречу потоку воды, в результате чего происходит лучшее смешение воздуха (кислорода) с водой, следовательно, быстрый и повсеместный подвод кислорода к каждому активному илу, содержащемуся в воде. Таким образом, активный ил быстрее и наиболее полно окисляется, и выпадает в осадок.

## **Изучение электроразрядной обстановки вокруг МКС в ходе космического эксперимента «Плазма-ЭРП»**

Сизов А.А., Чадаева Ч.В.  
ФГУП ЦНИИмаш, г. Королёв

Воздействие факторов космической среды на космические аппараты (КА), в частности негативное влияние плазменного окружения, на сегодняшний день является серьезной проблемой. Для обеспечения штатного функционирования КА необходим анализ воздействия электроразрядных процессов (ЭРП), возникающих в плазменном окружении, на КА и последующие меры по защите от них.

С этой целью в ФГУП ЦНИИмаш было проведено моделирование плазменной обстановки вокруг Международной космической станции (МКС), которое показало возможность возникновения и развития электростатических разрядов на её поверхностях. Проведенный космический эксперимент «Плазма-МКС» подтвердил возможность возрастания электрических полей

вокруг космических аппаратов в условиях движения в ионосфере и возможность их возрастания в локальных областях поверхности до величин, ведущих к разрядным эффектам.

Для отработки средств контроля электроразрядной обстановки на внешней поверхности и в плазменном окружении МКС, многофункциональный лабораторный модуль российского сегмента МКС в рамках космического эксперимента «Плазма-ЭРП» будет оснащен аппаратурой регистрации газоплазменного окружения (АРГО).

С помощью НА «АРГО» будет организован регулярный мониторинг электрофизических процессов, происходящих на МКС, включая измерения потенциала поверхности и концентрации плазмы, контроль условий возникновения разрядов на диэлектрической поверхности в присутствии плазмы и характеристик генерируемого при разрядах электромагнитного излучения. Результаты КЭ позволят оценить необходимость и возможность использования средств защиты крупногабаритных пилотируемых космических комплексов от негативных последствий электрических разрядов.

Результаты эксперимента «Плазма-ЭРП» позволят создать систему защиты КА от опасных факторов, возникающих в их плазменной среде, повысив, таким образом, надёжность и безопасность КА.

В докладе приведены результаты экспериментального моделирования в вакуумной камере ФГУП ЦНИИмаш процессов, происходящих при электрических разрядах на корпусе МКС; краткие сведения о результатах космического эксперимента «Плазма-МКС»; сведения о подготовке космического эксперимента «Плазма-ЭРП».

### **Анализ проблемы обращения со строительными отходами в условиях города**

Судуков А.Э.

Научный руководитель – Мессинева Е.М.

МАИ, г. Москва

Воздействия строительного производства на окружающую среду могут быть прямыми и косвенными. Непосредственно при производстве строительных работ происходит:

- уничтожение экосистем на территории стройплощадки;
- выделения вредных веществ в атмосферу от объекта в процессе покрасочных работ, сварки, автотранспорта;
- загрязнение строительными отходами почв;
- загрязнение поверхностных и подземных вод при сбросах и во время осадков;
- образование твёрдых отходов, вывозимых на полигоны, загрузка которых приближается к критической отметке.

Косвенное загрязнение происходит через выбор строительных материалов и их использование. Так, негативные воздействия на природную среду происходят уже при добыче сырья для строительных материалов, их производстве, транспортировке и т.д.

С каждым годом в ходе строительства инфраструктурных объектов в крупных городах увеличивается количество строительных отходов, что требует развития грамотной системы обращения с ними.

Основные предупреждающие мероприятия по негативным эффектам на окружающую среду обычно прорабатываются в разделах проекта по охране труда и охране окружающей среды с помощью ФЗ № 68 «Об отходах производства и потребления» от 30.11.2005, ФЗ №7 «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 и т.д. Разрабатывается проект нормативов образования отходов и лимитов на их размещение (ПНООЛР).

Для предотвращения образования свалок строительного мусора сегодня предложена экологическая концепция утилизации отходов на строительных площадках в условиях города. Ежегодно в России образуется 15-17 млн. тонн строительных твердых отходов. Строительный мусор имеет 4-й класс опасности, поэтому вывоз и утилизация производится с соблюдением правил безопасности. Согласно действующему законодательству вывоз крупногабаритного мусора в столице и других городах РФ осуществляется только на специально оборудованные полигоны. Далее захоронение отходов выполняется согласно установленным стандартам. Но сейчас главной проблемой утилизации строительных отходов становится не транспортировка, а вторичное использование и экологическое захоронение. Например, крупные строительные фирмы вывозят мусор на другой объект, где заливается фундамент. Мелкие компании сотрудничают с крупными фирмами или организуют переработку прямо на месте, установив передвижные дробилки.

Работа в сфере обращения с отходами требует получения соответствующего разрешения, так как указанный вид деятельности является лицензируемым, а сама деятельность по сбору, использованию, транспортировке и размещению отходов жестко регламентируется как федеральным законодательством, так и законодательными актами субъектов Федерации. Специализированные организации не только определяют потоки и объемы направляемых строительных отходов и грунтов для их использования в качестве рекультиванта, но и осуществляют соответствующие экономические регулирования в области обращения с отходами, а также дисциплинарную, административную, уголовную или гражданско-правовую ответственность, которую несет ответственное за строительство физическое или юридическое лицо.

### **Анализ методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства**

Татарникова В.В.

Научный руководитель – Мессинева Е.М.

МАИ, г. Москва

В современном мире промышленности актуализируются проблемы, связанные с нарушением водного законодательства. Вот почему возникает необходимость стоимостной оценки ущерба, для которой существует ряд методик исчисления размера вреда. Одним из важнейших в этой сфере документов является «Методика исчисления размера вреда, причиненного

водным объектам вследствие нарушения водного законодательства». Настоящая методика утверждена приказом Министерством природных ресурсов и экологии РФ от 13 апреля 2009 г. № 87 и направлена на должное определение суммы за негативное воздействие на водные объекты Российской Федерации (РФ), что является важным рычагом в охране природы.

Установлено, что в методике рассмотрен ряд случаев расчета ущерба вреда, связанный с загрязнением водных объектов. Одним из распространенных является вред, причиненный водному объекту в результате сброса вредных (загрязняющих веществ) в составе сточных вод и (или) дренажных (в том числе шахтных, рудничных) вод. Формула для расчета ущерба такого загрязнения:

$$Y = K_{ВГ} \times K_{В} \times K_{ИН} \times \sum_{i=1}^n H_i \times M_i \times K_{ИЗ}$$

где:  $Y$  - размер вреда, тыс. руб.;

$K_{ВГ}$  - коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года;

$K_{В}$  - коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние водных объектов);

$K_{ИН}$  - коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития;

$H_i$  - таксы для исчисления размера вреда от сброса  $i$  - ого вредного (загрязняющего) вещества в водные объекты;

$M_i$  - масса сброшенного  $i$  - ого вредного (загрязняющего) вещества определяется по каждому загрязняющему веществу;

$K_{ИЗ}$  - коэффициент, учитывающий интенсивность негативного воздействия вредных (загрязняющих) веществ на водный объект.

В ряде случаев возникает необходимость учета географического расположения водного объекта ввиду его экологической ценности на Федеральном уровне. Очевидно, что такие водные объекты (или их части) имеют особое природоохранное, научное, культурное, эстетическое и оздоровительное значение для страны. Также на конечную сумму влияет опасность загрязняющего вещества и, соответственно, его масса.

Применение данной методики к расчету ущерба, причиненного водным объектам в результате хозяйственной и иной деятельности, позволяет поддерживать баланс между нарушением требований в области охраны водного законодательства и восстановлением водного мира в целом.

## **Применение апимониторинга для оценки состояния окружающей среды**

Угринович С.Б.

Научный руководитель – Фетисов А.Г.

МАИ, г. Москва

В настоящее время производственная и хозяйственная деятельность человека ведёт к серьёзным изменениям условий функционирования биосферы, в большинстве случаев, приводя к негативным последствиям, что особенно заметно с помощью длительных мониторинговых исследований. В связи с этим существует необходимость организации регулярных наблюдений за состоянием

биосферы и ее реакцией на антропогенное воздействие. Индикация позволяет следить за развитием живых организмов и динамикой природных экосистем в естественных условиях и при их нарушениях.

Так, среди методов оценки экологического состояния окружающей среды, биоиндикация, как составляющая собой, высокочувствительный метод, который можно использовать как интегральный показатель экологического состояния компонентов экосистем, и как инструмент селективного анализа конкретных поллютантов и ксенобиотиков биосферы.

Одним из направлений биоиндикации является апиомониторинг – это экологическая оценка окружающей среды с использованием пчел и их продуктов, которая обладает всеми преимуществами биологического мониторинга. Исследования в этом направлении показали, что продукты пчеловодства (мед, прополис, обножка, пыльца, перга, воск) наряду с пчелами служат индикаторами накопления поллютантов в биоценозах. Поэтому их оценка является показателем загрязненности окружающей среды.

Целью данной работы является: обоснование целесообразности изучения пчел в качестве биоиндикатора и аккумулятора загрязнителей окружающей среды (по отдельным видам загрязнителей).

Медоносные пчелы относятся к исключительно удобному и наиболее целесообразному объекту экологического мониторинга, обеспечивающего сохранение и рациональное использование природных ресурсов.

Для оценки экологической ситуации на контролируемой территории размещают апипосты (группы из нескольких пчелиных семей), за которыми ведут наблюдения и регулярно берут пробы продуктов жизнедеятельности для химического анализа.

Апиомониторинговые исследования включают многие показатели, такие как: особенности поведения семей, состояние их здоровья, восприимчивость к химическим токсикантам и поллютантам, инфекционным и инвазионным заболеваниям, зимостойкость, ройливость, особенности роста и развития семей, воспроизводительные функции, а так же с помощью пчел можно определить наличие электромагнитного загрязнения, радиационного загрязнения и присутствия взрывчатых и наркотических веществ.

Таким образом, апиомониторинг является важнейшим инструментом контроля за состоянием окружающей среды, множество достоинств обуславливают интерес и актуальность исследований данного направления биоиндикации, но, к сожалению, заинтересованность в развитии данного метода остаётся ещё на невысоком уровне.

## **Исследование процессов массопереноса в электрохимическом концентраторе углекислого газа в системах жизнеобеспечения**

Холяков А.Е.

Научный руководитель – Шангин И.А.

МАИ, г. Москва

Физико-химическая система регенерации воздуха для длительных пилотируемых космических полетов предусматривает различные способы извлечения и концентрирование двуокиси углерода в пилотируемых

космических аппаратах с целью очистки воздуха и получения кислорода из двуокиси углерода.

Выбор того или иного метода определяется прежде всего надежностью и стабильностью технологических процессов, сохраняющих неизменными свои рабочие характеристики в течение длительного периода эксплуатации. Помимо этого система очистки атмосферы гермообъектов от углекислого газа и его концентрирования являются первым звеном, ответственным за последующую организацию процесса регенерации газовой среды и предопределяющим выбор технологических звеньев получения кислорода из  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  или из их смеси. Создание современных систем жизнеобеспечения пилотируемых космических аппаратов требует разработки новых типов компактных энергоберегающих электрохимических устройств.

Одним из возможных способов поддержания низкого парциального давления углекислого газав герметичном объеме с источниками газовой выделений является удаление углекислого газа в аппаратах совмещенного действия типа. Электрохимическая система очистки от  $\text{CO}_2$  и обеспечение ее работоспособности представляют значительный интерес вследствие простоты организации технологического процесса и малой его энергоёмкости.

Электрохимический концентратор состоит из двух электродов, диафрагм и абсорбера бидисперсной структуры. Бидисперсная структура представляет собой капиллярно-пористый элемент с мелкими порами для электролита и крупными порами для газового потока. Мелкие поры обеспечивают непрерывную цепь между электродами. В крупных порах происходит контакт газового потока с жидким электролитом и фазовый переход углекислого газа в жидкую фазу.

Для исследования вопросов массообмена такой электрохимической системы предложена математическая модель процессов массопереноса в многокомпонентной системе с учетом принятых допущений и протекающих химических реакций в межэлектродном пространстве. Алгоритм расчёта электрохимического концентратора углекислого газа позволяет определять абсорбционные характеристики аппарата при различных схемах организации электрохимического процесса в широком диапазоне изменения плотностей тока, проводить сравнительную оценку процессов в аппаратах с различными электролитами.

Обобщение результатов расчета распределения концентраций, плотностей тока в межэлектродном пространстве дает возможность оценить основные интегральные характеристики электрохимического устройства.

### **Технологическая схема удаления ионов металлов из сточной воды линии никелирования** Хусаинова О.С.

Научный руководитель – Галимова А.Р.  
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

В настоящее время на предприятиях аэрокосмической отрасли широко применяется гальваническая обработка поверхности металлов. Гальваническое производство является одним из наиболее опасных источников загрязнения

окружающей среды, главным образом поверхностных и подземных водоемов, ввиду образования большого объема сточных вод, содержащих вредные примеси тяжелых металлов, неорганических кислот и щелочей, поверхностно-активных веществ и других высокотоксичных соединений.

Для очистки промывных сточных вод линии никелирования, содержащих свободные минеральные кислоты или щелочи, а также соли тяжелых металлов, и возврата воды в производство предлагается следующая технологическая схема, состоящую из двух ступеней: реагентная предварительная очистка и доочистка методом ионного обмена. Промывные воды со всех этапов обработки деталей поступают в бак - усреднитель, в котором происходит сбор, накопление сточной воды, а также усреднение концентрации веществ находящихся в ней.

Из усреднителя вода поступает в бак – мешалку, куда дозатором добавляется реагент (известковое молоко) для реагентной очистки, приготовленным из известки 3-го сорта. При перемешивании происходит взаимодействие тяжелых металлов с реагентом и одновременное осаждение катионов тяжелых металлов в виде гидроксолей, гидроксидов и карбонатов.

Далее вся вода из мешалки с осадком подается в отстойник, в котором происходит отделение осадка от очищаемой воды под действием силы тяжести. Осадок направляется в фильтр-пресс, обезвоживается и удаляется на склад хранения шлама.

Обработка сточных вод щелочными реагентами позволяет снизить содержание тяжелых металлов в растворе до величин, сопоставляемых с ПДК для водоемов санитарно-бытового пользования. Однако когда требуется более глубокая очистка, например, при непосредственном сбросе в рыбохозяйственные водоемы, очистка щелочными реагентами не дает необходимого эффекта.

Поэтому, осветленная вода из отстойника и фильтр-пресса поступает для доочистки в ионообменную колонну, где происходит удаление оставшихся в растворе ионов тяжелых металлов. Очищенная вода снова поступает в производство в качестве промывной воды.

Реагентные методы очистки являются относительно дешевыми методами, но не могут дать глубокой очистки стоков от металлов, так как они не работают при малых концентрациях ионов металла в воде. С другой стороны использование ионного обмена для очистки сточных вод с высокой концентрацией ионов тяжелых металлов экономически невыгодно, так как происходит быстрый расход ионитов, а это дорогой материал. Однако при малых концентрациях ионов тяжелых металлов метод ионообменной очистки дает хороший результат, то есть высокую степень очистки стоков. Таким образом, наилучший результат достигается при комбинировании этих двух методов. Для этого сначала снижается содержание ионов тяжелых металлов в стоках реагентным методом, а затем очистка завершается доведением концентрации вредных веществ до необходимого уровня методом ионообменной очистки.

## **Анализ существующих методических подходов к проведению ОВОС и программ обеспечения экологической безопасности ракетно-космических комплексов**

Черевко А.И.

Научный руководитель – Воробьева С.С.

МАИ, г. Москва

Существование современной цивилизации немислимо без использования результатов космической деятельности: связь, телевидение, метеорология, навигация, новейшие технологии в самых разных отраслях, многое другое. Современное развитие земной цивилизации тесно связано с дальнейшим освоением и использованием космического пространства всем человечеством.

Экологическая безопасность должна быть обеспечена как во время эксплуатации изделия ракетно-космической деятельности (РКД), так и на всех стадиях и этапах его жизненного цикла: при разработке, испытаниях, производстве и эксплуатации, а также утилизации после снятия с эксплуатации. Причем экологическая безопасность должна быть обеспечена и при штатных, и при аварийных режимах работы и производства изделий.

Требования по обеспечению экологической безопасности РКД включены в отраслевую нормативную документацию, по всем проектам создания и модернизации разрабатываются материалы оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), разрабатываются и реализуются программы обеспечения экологической безопасности при создании и эксплуатации РКТ, программы проведения экологического мониторинга районов эксплуатации изделий РКТ, проектно-конструкторские и организационно-технические решения по снижению воздействия РКТ на ОС, экологическое сопровождение пусков ракетносителей (РН) и прочие программы.

В работе приведены методические подходы к проведению ОВОС и разработке программ обеспечения экологической безопасности (ПОЭБ) для вновь создаваемых и модернизируемых ракетно-космических комплексов (РКК), разработанные ЦНИИмаш. Приведены методики проведения ОВОС для единичного пуска, для наземной эксплуатации РКК, при выведении КА на орбиту, методика проведения ОВОС в районах падения отделяющихся частей РН (полигонах приземления спускаемых аппаратов), методика проведения ОВОС в случае аварийного исхода запуска КА (спуска СА).

Обеспечение экологической безопасности достигается путем планирования и реализации комплекса мероприятий на каждой стадии (этапе создания) жизненного цикла изделий РКТ и отражается в программе обеспечения экологической безопасности (ПОЭБ) комплекса и его составных частей, также разработанной в ЦНИИмаш и предусматривающей последующую оценку воздействия на ОС.

Также проанализированы порядок разработки, согласования и утверждения ПОЭБ; порядок контроля реализации и корректировки ПОЭБ; общие требования к содержанию мероприятий по обеспечению экологической РКТ на этапах разработки, производства, эксплуатации и утилизации РКТ.

Проанализирован общий подход к заданию и отработке экологических параметров изделия РКТ. В соответствии с действующей нормативно-правовой

документацией при создании комплекса должна быть разработана ПОЭБ, при этом предусматривается проведение ОВОС и разработка соответствующих организационно-технических мероприятий, снижающие вредные воздействия до допустимого уровня. В этих программах учитываются все влияющие на экологическую безопасность режимы функционирования систем и элементов, а также экологически опасные технологические процессы.

## **Методика оценки эффективности средств, обеспечивающих травмобезопасность шеи и головы экипажей вертолётов**

Чунтул А.В., Якушев В.С.

Научный руководитель – Завалов О.А.

МАИ, г. Москва

Современные вертолеты оборудованы комплексом систем, обеспечивающим высокий уровень травмобезопасности людей на борту в случае аварийных приземлений. Однако применение различных устройств, носимых на голове, таких как очки ночного видения или системы нашлемного целеуказания, которые с одной стороны значительно расширяют функциональные возможности вертолетов, с другой снижают реальный уровень травмобезопасности экипажей при аварийных посадках. Эффективность противоударной защиты снижается за счет увеличения массы носимого на голове оборудования, что при воздействии ударных перегрузок, возникающих в условиях аварийной посадки, увеличивает момент инерции головы и может привести к травмированию шейного отдела позвоночника, даже при штатной работе современного комплекса противоударной защиты.

В настоящее время ведется исследование, нацеленное на создание методики проектирования и оценки эффективности систем, обеспечивающих травмобезопасность шеи и головы экипажей вертолетов в случае применения нашлемного оборудования. Основной задачей методики является, установление функциональной связи между современными подходами проектирования авиационных систем и фундаментальным объемом знаний, накопленным коллективом высококлассных ученых и инженеров научно-исследовательских институтов и предприятий авиационного комплекса в процессе изучения физиологической переносимости человека для разработки критериев оценки травмобезопасности катапультных кресел самолетов, противоударной защиты пилотов вертолетов и космических кораблей.

Методика оценки эффективности базируется на установлении соответствия характеристик разрабатываемых устройств комплексу критериев травмобезопасности. Оценка системы производится, на основных этапах проектирования:

- Предварительный проектировочный расчет основных параметров системы противоударной защиты. Расчет базируется на теоретических и эмпирических знаниях о динамике движения человека при ударных перегрузках.
- Эргономическая оценка средств противоударной защиты в кабине вертолета, функциональная проверка системы в условиях аварийного покидания вертолета.

- Построение конечно-элементной модели системы в состав которой входит модель устройства противоударной защиты и модель человека или антропоморфного манекена для оценки динамического взаимодействия устройства противоударной защиты и частей тела человека.

- Проведение стендовых испытаний с использованием антропоморфных манекенов, оборудованных современным комплексом измерительного оборудования.

После проведения стендовых испытаний результаты используются, для повышения точности и достоверности проекторочных и поверочных расчетов, а также для доводки и улучшения характеристик разрабатываемых систем противоударной защиты.

Предлагаемая методика оценки эффективности устройств противоударной защиты позволит разработать и объективно сравнивать эффективность различных по компоновке и принципу действия перспективных средств защиты шеи и головы пилотов вертолетов, что в свою очередь значительно повысит уровень защиты экипажей вертолетов, использующих в своей летной работе разнообразное наשלемое оборудование.

### **Ликвидация разливов нефти и нефтепродуктов, возможные источники ЧС**

Шевченко М.А.

Научный руководитель – Мануйлова Н.Б.

МАИ, г. Москва

В процессе транспортировки и хранения сырой нефти существует потенциальная опасность возникновения чрезвычайной ситуации. Для предотвращения всевозможных потерь для каждого предприятия разрабатывается определённый план ликвидации и предупреждению разливов нефти и нефтепродуктов.

«Каспийский Трубопроводный Консорциум» («КТК») является заказчиком экспортного трубопровода «Тенгиз-Новороссийск», по которому осуществляется доставка сырой нефти из Западного Казахстана к морскому терминалу на побережье Черного моря в районе г. Новороссийска. Участком Нефтепроводной системы «КТК», расположенным на территории Российской Федерации, владеет и управляет Закрытое акционерное общество «Каспийский Трубопроводный Консорциум – Р» (ЗАО «КТК-Р»).

Морской терминал является завершающим элементом нефтепроводной системы «КТК» и представляет комплекс сооружений, установок и оборудования, предназначенных для обеспечения приема нефти из магистрального нефтепровода «Тенгиз – Новороссийск», ее учета, хранения и перевалки (отгрузки) по участку магистрального нефтепровода 1496 км – 1507 км (подводящий трубопровод) на нефтеналивные суда.

Возможными источниками разлива могут быть любые технологические объекты и ёмкости, содержащие нефть (нефтепродукт). К наиболее опасным источникам утечки нефти можно отнести:

- авария на подводящем нефтепроводе;
- авария на резервуарах хранения нефтепродукта;

- авария автоцистерны;
- авариях на технологических трубопроводах;
- авария на запорной арматуре, фланцевых соединениях.

Исходя из особенностей технологических процессов, на объектах Морского терминала ЗАО «КТК-Р» возможными причинами и факторами, способствующими возникновению и развитию аварий, могут быть:

Отказы (неполадки) оборудования:

- физический износ, механические повреждения;
- коррозия металла внешних, внутренних стенок и днища резервуара, внутренняя коррозия металла, коррозия металла стенок трубопроводов;
- потеря герметичности МН, задвижек, вантузов.

Ошибочные действия персонала:

- несоблюдение правил технической эксплуатации;
- ошибки при проведении ремонтных, профилактических и других работ, связанных с неустойчивыми переходными режимами.

Внешнее воздействие природного и техногенного характера.

Противоправные действия людей, приводящие к умышленному созданию аварийной ситуации.

Последствиями таких аварий могут стать эколого-экономические катастрофы и большие человеческие жертвы. По ликвидации последствий разработаны технологии и способы сбора разлитой нефти, технологии и способы реабилитации загрязнённых территорий, восстановительные мероприятия.

## **Инновационная установка очистки воздуха в кабинах транспортных средств**

Шилова А.Д.

Научный руководитель – Калпина Н.Ю.

МГМУ (МАМИ), г. Москва

Одним из важнейших требований к качеству транспортных средств, работающих в тяжелых эксплуатационных условиях, является обеспечение безопасности жизнедеятельности операторов путем создания в кабинах в теплый период года благоприятного микроклимата и соблюдения санитарных норм по чистоте воздуха на рабочем месте при высокой запыленности внешней среды мелкодисперсными частицами, а также наличии газообразных вредных веществ, таких как диоксид азота, оксид углерода, углеводороды. В связи с этим кабины машин должны быть оборудованы установками кондиционирования воздуха (УКВ), одной из разновидностей которых является традиционный хладоновый кондиционер. Хладоновые кондиционеры широко используются на легковых автомобилях, автобусах и других объектах, однако с точки зрения их применения на машинах, работающих в тяжелых эксплуатационных условиях, выявлены обстоятельства, обуславливающие снижение их потребительских качеств.

Учитывая, что в практике кондиционирования воздуха стационарных помещений с целью энергосбережения рекомендуется использовать сочетание (симбиоз) водоспарительного (естественного) и искусственного (машинного) методов охлаждения, нами предлагается комбинированная УКВ.

Она содержит установленный на крыше кабины блок обработки воздуха и его подачи на рабочее место после соответствующей очистки и охлаждения с контурами хладонового кондиционера и водоиспарительного охладителя.

Общими для указанных контуров являются воздушный бумажный фильтр, несущая камера, вентиляторный агрегат и воздухораспределитель. Кроме этого в контур хладонового кондиционера входят теплообменник испарителя, размещенный в крышном блоке, а также смонтированные вне его терморегулирующий вентиль и размещенные в подкапотном пространстве двигателя внутреннего сгорания машины ресивер, теплообменник конденсатора, компрессор, сообщенные между собой соответствующими трубопроводами.

В контур водоиспарительного охладителя соответственно входят адиабатная орошаемая насадка, размещенная в крышном блоке, а также смонтированные на полу кабины водяной баки водяной насос, сообщенные с трубопроводами

Результаты расчетов показали, что комбинированная УКВ способна обеспечить в кабине «динамический» микроклимат, характеризующийся температурным режимом практически на уровне рациональных значений при относительной влажности 43 ...56% (при нормативе 40 ...60%).

Что же касается очистки кондиционируемого воздуха от вредных примесей, то в отличие от традиционного хладонового кондиционера комбинированная УКВ в силу наличия в ней водоиспарительной ступени обладает необходимыми свойствами в части очистки воздуха от высокодисперсной пыли.

В части же очистки воздуха от газообразных примесей, то проработка этого вопроса показала, что если растворить в орошающей воде недефицитные перманганат калия  $\text{KMnO}_4$  (марганцовка) и бикарбонат натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (техническая сода), то воздух в комбинированной УКВ можно очистить не только от оксида углерода, оксидов азота и углеводородов, но и снизить токсическое воздействие вносимых в организм оператора с остаточной пылью гербицидов, пестицидов, минеральных удобрений и др. Следовательно, и эта задача комбинированной УКВ решается.

### **Анализ отходов, образующихся на разных этапах производственного процесса на ТЭЦ**

Ярцева А.Ю.

Научный руководитель – Мессинева Е.М.

МАИ, г. Москва

Любая деятельность человека сопровождается значительным образованием отходов, которые классифицируются по происхождению (промышленные и коммунально-бытовые), агрегатному состоянию (твёрдые, жидкие, газообразные) и по классу опасности (с I класса – чрезвычайно опасные, по V класс – практически неопасные).

В данной работе проведен анализ жизненного цикла отходов, побочно образующихся в производственном процессе при функционировании ТЭЦ-17 г. Ступино.

По данным документации предприятия, было установлено, что номенклатура отходов от вышеуказанных управлений и служб состоит из 61 наименования, относящихся к 6 основным видам отходов:

- Отходы тормозной жидкости;
- Фильтры масляные отработанные;
- Силикагель отработанный загрязнённый нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов 15% и более);
- Отходы изделий текстильных, загрязненные масляными красками, лаками, смолами и различными полимерными материалами (текстиль, загрязненный ЛКМ);
- Отходы при заборе, очистке и распределении воды для бытовых и промышленных нужд (шлам от водоподготовки);
- Шлам брызгального бассейна.

Норматив образования отходов, образующихся в результате деятельности предприятия, составляет 1101.719 т. В том числе:

- I класса опасности – 0.368 т/год
- II класса опасности - 0.839 т/год
- III класса опасности - 111.857 т/ год
- IV класса опасности - 435.335 т/год
- V класса опасности - 553.320 т/год

Из всей массы образующихся отходов 585.752т/год передаются на полигоны, в том числе по классам опасности:

- IV класса опасности - 288.907 т/год
- V класса опасности - 296.845 т/год

Поступает на золошлакоотвал 126.825 т/год отходов IV класса опасности. На переработку, использование и обезвреживание передается 389.142 т/год, в том числе по классам опасности:

- - I класса опасности - 0.368 т/год
- - II класса опасности - 0.839 т/год
- - III класса опасности - 111.857 т/ год
- - IV класса опасности - 19.603 т/год
- - V класса опасности - 256.475 т/год

Таким образом, отходы предприятия в большей степени передаются на полигоны и образуются в пределах установленных нормативов.

## **СЕКЦИЯ № 51. Проектирование и конструкция авиационных двигателей и энергетических установок**

Руководитель секции: д.т.н., доцент Агульник А.Б.

---

### **Исследование тепловых процессов в газообразном метане**

Абдуллин М.Р., Новиков С.Н., Коханова Ю.С.

Научный руководитель – Алтунин В.А.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

Известно, что запасов нефти в РФ осталось примерно на 50 лет, а запасов природного метана – на 200 лет. Поэтому Правительством нашей страны было принято решение о постепенном переводе двигателей и энергоустановок, в том числе и для летательных аппаратов (ЛА) на газообразные углеводородные горючие. Так, например, предложен российско-индийский проект по созданию новых ракет типа «Рикша-1» и «Рикша-2» с применением газообразных углеводородных горючих. В настоящее время, в РФ и РТ осуществляется пилотный проект по переводу двигателей типа «Камаз» и других поршневых двигателей на газообразное топливо. В настоящее время теплофизические и другие свойства газообразного метана изучены не достаточно полно.

Для всестороннего исследования особенностей тепловых процессов в газообразном метане в условиях его естественной и вынужденной конвекции были созданы экспериментальные установки и рабочие участки.

В докладе представлена экспериментальная установка по естественной конвекции газообразного метана, позволяющая проводить исследования в больших диапазонах по давлению и температуре. Она состоит из батареи баллонов высокого давления, редуктора, датчиков давления, вентилей, бомбы с различными рабочими участками, выходного канала. Данная установка моделирует термодинамические условия теплообмена и осадкообразования в реальных трактах охлаждения и топливоподачи в энергоустановках и техносистемах.—Основным элементом рабочего участка являлась сменная пластина из нержавеющей стали марки X18H10T, к которой приваривалась хромель-алюмелевая термопара. Нагрев рабочей пластины в объеме газообразного метана в экспериментальной бомбе производился Джоулевым теплом.

В ходе экспериментальных исследований было обнаружено, что:

- повышение давления в экспериментальной бомбе приводит к понижению температуры рабочей пластины (стенки) ( $T_{ст}$ ), а значит, к увеличению коэффициента теплоотдачи ( $\alpha$ ). Так, например, повышение давления с  $p=1,8$  МПа до  $p=7,0$  МПа привело к понижению температуры стенки ( $T_{ст}$ ) почти на 200 градусов, а увеличило  $\alpha$  составило 143%;
- при повышенных температурах нагрева рабочей пластины ( $T_{ст} > 423$ К) при любых давлениях на её поверхностях появлялся углеродистый осадок светло-серого цвета рыхлой структуры.

В докладе также представлена экспериментальная установка по исследованию газообразного метана в условиях его вынужденной конвекции,

которая состоит из батареи баллонов высокого давления, редуктора, датчиков давления, вентилей, расходомерного устройства (сопла Лавала), рабочего участка, выходного канала. Рабочий участок представляет из себя трубку из нержавеющей стали марки X18H10T с наружным диаметром 3 мм, проходящую внутри канала диаметром 5 мм, выполненного из оргстекла. Нагрев рабочей трубки производился также Джоулевым теплом. Замер температуры осуществлялся с помощью подвижной термопары, которая вставлялась внутрь стальной трубки. Газообразный метан пропусклся в кольцевом канале с различными скоростями и давлениями.

Результаты экспериментов показали, что большую роль в повышении коэффициента теплоотдачи к газообразному метану играют массовая скорость прокачки и давление.

Доклад сопровождается иллюстрационным экспериментальным материалом.

### **Исследование влияния магнитных и электростатических полей на тепловые процессы в газообразном метане**

Абдуллин М.Р., Коханова Ю.С., Шигапов Р.Р.

Научный руководитель – Алтунин В.А.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

Обзор и анализ научно-технической литературы показал, что в настоящее время недостаточно сведений о способах борьбы с осадкообразованием в газообразном метане, о способах интенсификации теплоотдачи к углеводородным газообразным горючим и охладителям при помощи магнитных и электростатических полей в условиях естественной и вынужденной конвекции.

Для проведения фундаментальных исследований влияния магнитных и электростатических полей на тепловые процессы в газообразном метане были созданы экспериментальные установки по его естественной и вынужденной конвекции, подробно показанные в докладе.

В ходе опытов в условиях естественной конвекции газообразного метана обнаружено, что включение в работу магнитных полей, изменение их направленности, полярности и индукции не привели к каким-либо изменениям процесса теплоотдачи к газообразному метану во всем диапазоне режимных параметров по давлению ( $p$ ) и температуре ( $T$ ). А электростатические поля влияют на увеличения коэффициента теплоотдачи ( $\alpha$ ) и на предотвращение негативного процесса осадкообразования. Поэтому дальнейшие исследования были проведены только с электростатическими полями.

Результаты экспериментальных исследований при естественной конвекции газообразного метана показали, что:

- увеличение давления в экспериментальной бомбе приводит к увеличению коэффициента теплоотдачи  $\alpha$ ;
- наиболее эффективное увеличение коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  происходит при включении электростатических полей в постоянном режиме, без каких-либо импульсных включений, смены полярностей на рабочих соосных иглах;

- увеличение электростатического напряжения на рабочей игле приводит к интенсификации теплоотдачи при любых давлениях в экспериментальной бомбе;

- существует зона насыщения электростатическими полями, в которой дальнейшее увеличение электростатического высоковольтного напряжения на отдающей игле не приводит к ожидаемому увеличению коэффициента теплоотдачи  $\alpha$ , в этой зоне он остается постоянным при любых напряжениях, а кроме того, граница этой зоны является и границей начала искрового пробойного разряда;

- предотвращения негативного процесса осадкообразования происходит в зоне прохождения силовых линий электростатических полей, которые должны работать в постоянном режиме;

- практически во всех экспериментах на острие отдающей рабочей иглы почти всегда появлялась униполярная светящаяся корона, благодаря которой создавались дополнительные силовые линии, которые способствовали расширению зоны предотвращения осадкообразования на поверхности рабочей пластины.

В результате проведения экспериментальных исследований в условиях вынужденной конвекции газообразного метана подтвердились все особенности влияния электростатических полей на газообразный метан, обнаруженные при естественной конвекции. Найдены новые зоны насыщения электростатическими полями, граничные массовые скорости прокачки метана, при увеличении которых влияние электростатических полей выходит уже на нулевой уровень.

Доклад сопровождается иллюстрационным экспериментальным материалом.

### **Охлаждаемая рабочая турбинная лопатка с центральным каналом подвода охладителя**

Адиев И.Н.

Научный руководитель – Белова С.Е.

РГАТУ им. П.А. Соловьёва

При создании высокотемпературных охлаждаемых турбин ТРДД важной задачей является проектирование систем охлаждения рабочих лопаток первой ступени ТВД.

Одним из наиболее проблемных участков рабочей лопатки турбины газотурбинного двигателя является входная кромка – именно эта зона обтекается трактовым газом с наиболее высокими температурами.

Проведенный анализ существующих конструкций охлаждаемых рабочих лопаток показывает, что при их проектировании не учтен характер распределения температуры газа перед входной кромкой, поэтому в верхнюю треть пера, т.е. зону действия максимальной температуры, подается охладитель с более низким расходом (т.к. некоторая его часть выдувается в перфорации в корневых сечениях) и частично выработавший свою охлаждающую способность на нижней половине высоты пера.

С целью повышения эффективности охлаждения наиболее теплонапряженной зоны пера предлагается конструкция охлаждаемой рабочей лопатки, которая позволяет подавать к проблемному в плане температурной

напряженности участку пера лопатки поток охладителя, не использованного при охлаждении корневых участков пера лопатки, за счет чего достигается более высокий уровень коэффициентов эффективности охлаждения.

Целью разработки системы охлаждения лопатки является необходимость повышения её ресурса за счет обеспечения эффективного охлаждения всех участков пера, необходимость подачи максимально возможно «холодного» охладителя к участку, омываемому газом с максимально высокой температурой. Указанные мероприятия позволят снизить температуру самого теплонапряженного участка пера, а значит, и достигнуть более высоких коэффициентов эффективности охлаждения, предотвращение появления трещин и прогаров, в увеличении ресурса лопатки.

Предлагаемая рабочая лопатка имеет каналы охлаждения, в их числе центральный канал подвода охладителя к периферийной части входной кромки. Стенки этого канала не граничат с горячим газом. Подаваемый по каналу охлаждающий воздух подводится к средней части верхней половины пера, являющейся наиболее теплонапряженной зоной входной кромки, и выдувается в ряды перфорации, на ней расположенные.

Верхняя треть передней кромки по высоте – самый теплонапряженный участок пера. К нему охладитель подается по каналу. Он расположен в центре полого пера таким образом, что его стенки не соприкасаются с горячим газом. Воздух по каналу без потерь расхода и охлаждающей способности подается к периферийной части входной кромки, охлаждает её и выдувается через ряды перфораций в проточную часть.

Если проанализировать зависимость для эффективности охлаждения применительно к разработанной конструкции, то можно сказать следующее. Характер радиальной эпюры температуры газа свидетельствует о том, что максимум теплового воздействия приходится на среднюю часть верхней половины пера. Вместе с тем, принимая во внимание наименьшую толщину оболочки на этом участке, нетрудно спрогнозировать на нем максимум температуры материала. Для получения наибольшей эффективности охлаждения по рассматриваемой зависимости необходимо обеспечить минимально возможную температуру охлаждающего воздуха, которая и достигается у предлагаемой лопатки путем изоляции (от влияния горячего газа) канала подвода охладителя в рассматриваемую зону.

### **Стабилизация горения на струях нагретого газообразного горючего в камерах сгорания ПВРД**

Митрохов Н.В., Мещеряков Д.В., Гнесин Е.М.

Научный руководитель – Аврашков В.Н.

МАИ, г. Москва

Основной тенденцией развития авиационной и ракетной техники является наращивание скорости полета летательных аппаратов.

Для атмосферных летательных аппаратов наилучшими удельными характеристиками, в диапазоне чисел Маха полета 2–6 обладает широкодиапазонный прямоточныйвоздушно-реактивный двигатель – ШДПВРД.

Глубокое исследование процессов смесеобразования и горения, с привлечением новых средств измерений, в том числе лазерно-оптических, в комплексе с испытаниями и доводкой камер сгорания является ключом, открывающим путь к использованию ШДПВРД в ракетно-космической и авиационной технике.

Размер стабилизатора горения оказывает существенное влияние на такие показатели работы камеры сгорания прямоточного типа, как пределы устойчивого горения и величины гидравлических потерь.

Так как газодинамический стабилизатор по сравнению с механическим вносит значительно меньшие гидравлические потери и способен расширить пределы устойчивого горения, возможно значительное улучшение характеристик камеры сгорания путем замены механических стабилизаторов на газодинамические.

Струйный стабилизатор пламени создает повышенную турбулентность по сравнению с механическим. Это приводит к более интенсивному горению.

Изменением состава и температуры смеси в стабилизирующей струе можно значительно расширить пределы устойчивого горения топлива в камере сгорания.

Изменением соотношения расходов между основным потоком и стабилизирующей струей можно в широких пределах регулировать размеры зоны обратных токов для более эффективной стабилизации пламени.

Отсутствие в струйных стабилизаторах охлаждаемых элементов дает возможность повысить температуру в камере сгорания.

Оптимальный угол вдува стабилизирующей струи близок к  $135^\circ$ , при этом размер зоны обратных токов максимален. Для расширения пределов устойчивой работы камеры сгорания возможно обогащение стабилизирующей струи топливом или стабилизация горения на струях испаренного топлива.

Плоская щель обеспечивает достаточную глубину проникновения стабилизирующей струи топлива в основной поток, а значит, является эффективным способом подачи топлива в камеру сгорания.

Показанная в результате проведенных экспериментов возможность стабилизации горения на струях нагретого газообразного горючего втекающих в поток под углом  $135^\circ$ , дает основание считать стабилизацию пламени на струях одним из возможных и эффективных способов стабилизации пламени и интенсификации горения смесей в потоке.

## **Исследование струйного наддува радиального зазора рабочего колеса турбины высокого давления без бандажной полки**

Яковлева С.Ю.

Научный руководитель – Вятков В.В.

ПАО «НПО «Сатурн», РГАТУ имени П.А. Соловьева, г. Рыбинск

В условиях современной геополитической ситуации российское двигателестроение столкнулось с проблемой создания двухконтурных двигателей для дозвуковых самолетов (ТРДД). Данная проблема решается путем создания семейства двигателей на базе единого газогенератора. С точки зрения конструкции и технологичности изготовления заманчиво спроектировать

данный газогенератор с одноступенчатой турбиной высокого давления, но все попытки создания одноступенчатой турбины высокого давления для ТРДД в России были неудачны. Основные проблемы создания одноступенчатой турбины высокого давления с высоким уровнем связаны с газодинамическими эффектами в проточной части, а именно с работой лопаточных венцов в условиях смыкания вторичных течений в межлопаточном канале, невозможностью применения бандажной полки на рабочем колесе и, следовательно, возрастанием негативного влияния радиального зазора.

Для снижения негативного влияния радиального зазора в условия работы современной ТВД уже недостаточно системы управления радиальным зазором. Необходимо применение методов управления потоком внутри зазора.

Для снижения утечек горячего газа в радиальном зазоре можно воспользоваться наддувом зазора холодным воздухом со стороны корпуса. Этот способ эффективен только в случае высокоперепадной одноступенчатой ТВД, так как в данном случае возможно использование воздуха, отбираемого из средних ступеней компрессора.

Анализ влияния струйного надува радиального зазора осуществлялся путем численного моделирования течения в ступенях турбин различных геометрических параметров. Для осуществления данного численного моделирования разработана методика, которая верифицирована путем сравнения результатов расчета с экспериментами на реальном газогенераторе с включенной системой управления радиальным зазором.

Установлено, что струйный наддув радиального зазора может приводить к различному влиянию на параметры турбинной ступени. Критерием, определяющим характер этого влияния является динамика вторичных течений в межлопаточном канале рабочего колеса. С точки зрения проявления вторичных течений лопатки могут быть аэродинамически длинными, в которых вторичные течения, образовавшиеся на противоположных торцевых стенках, не взаимодействуют между собой и аэродинамически короткими в которых влияние вторичных течений распространяется на всю высоту межлопаточного канала.

Выдув воздуха в радиальный зазор со стороны корпуса положительно влияет на перераспределение полного давления на выходе из решетки для всех лопаток. Уменьшаются области пониженного полного давления, вызванные вихрем утечек через радиальный зазор и канальным вихрем. Для коротких лопаток выявлено активное взаимодействие вихря утечек с канальным вихрем в межлопаточном канале, что привел к тому, что наддув радиального зазора положительного влияния не оказал. Установлено, что в аэродинамически длинных лопатках применение щелевого надува радиального зазора повышает эффективность ступени в целом. При оптимальном подборе расхода воздуха и геометрического исполнения можно повысить КПД до уровня эффективности ступени с закрытым радиальным зазором.

На уменьшение потерь в ступени большее влияние оказывают изменение угла между надувочным воздухом и основным потоком, а также смещение надува относительно входной кромки вниз по потоку. Выявлены оптимальные параметры организации щелевого надува радиального зазора и надува через систему перфорированных отверстий.

## **Доводка по герметичности роторных уплотнений при проектировании и эксплуатации авиационных ГТД**

Ерзиков А.М., Ильюшкин Н.А.

Научный руководитель – Такмовцев В.В.

КНИТУ-КАИ им. А. Н. Туполева, г. Казань

Надежность работы авиационного ГТД во многом зависит от работоспособности его роторных подшипников качения, которая определяется конструкцией опорного узла и герметичностью окружающего его масляной полости. В современных авиационных ГТД нормы на безвозвратные потери масла находятся в пределах 0,3...0,1 кг/ч, что в зависимости от условий эксплуатации двигателя может составлять существенные величины. Поэтому обеспечение герметичности роторных уплотнений (РУ) является актуальной задачей.

В современных авиационных ГТД условия работы РУ непрерывно усложняются в связи с повышением температуры газа перед турбиной, увеличением степени сжатия в компрессоре и ростом скоростей вращения ротора. Поэтому большое значение имеет процесс формирования конструктивного облика РУ на стадии проектирования и их доводки по герметичности в условиях эксплуатации. В данном направлении на ОАО КПП "Авиамотор" г. Казань и в КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева выполнен цикл работ, которые позволили установить, что существуют две основные причины нарушения герметичности РУ авиационных ГТД семейства "НК". Первая причина – утечки масла через уплотнения подшипниковых узлов, которые возникают главным образом при запуске, остановке и выбеге двигателя. Это происходит в результате того, что давление воздуха наддува на данных режимах недостаточно для поддержания положительного перепада давления в РУ. Вторая причина – испаряемость масла через трубы суфлирования под воздействием высоких температур до 200° С и более в опорах турбин.

В авиационных двигателях серии «НК-8», имеющих каскады низкого (КНД) и высокого давления (КВД), применяются контактные и бесконтактные РУ. В данной работе рассматриваются РУ средней опоры двигателя: торцевые контактные уплотнения (ТКУ), осуществляющие разделение масляных и воздушных полостей, и межвальное торцевое контактное уплотнение (МТКУ), обеспечивающее герметичность между торцами роторов КНД и КВД. Доминирующим дефектом в этих уплотнениях является «Повышенный расход масла». Например, в НК-86 данный дефект фиксировался в МТКУ на 20 двигателях, а в ТКУ опоры ротора КВД – на 61 двигателе. Обобщение опыта эксплуатации РУ позволило установить причины возникновения дефекта «Повышенный расход масла». Раскрытие МТКУ вызвано торможением межвальной втулки по сухарикам в результате износа и образования клиновидного ступенчатого износа на рабочих поверхностях. Раскрытие ТКУ опоры ротора КВД происходило в результате торможения подвижной втулки, входящей в состав ТКУ, под действием знакопеременной осевой силы, возникающей на режимах приемистости и сброса газа; из-за отклонений от технических условий (ТУ) при изготовлении и сборке элементов ТКУ.

Для устранения данного дефекта на авиационных двигателях, находящихся в эксплуатации внесены уточнения в руководство по технической эксплуатации (РТЭ) двигателя: по контролю уровня и давления масла за нагнетающим насосом, по регистрации давления воздуха в средней опоре, по действиям экипажа в случае повышения давления масла в средней опоре и появлению запаха гари в салоне. Так же уточнены технологии сборки, ремонта и конструктивного выполнения деталей. В результате внедренных мероприятий регулярное проявление дефекта «Повышенный расход масла» в настоящее время устранено. Единичные случаи возникновения этого дефекта обусловлены отклонениями от требований от ТУ и РТЭ, возможными погрешностями при изготовлении и сборке деталей двигателей, а также элементов роторных уплотнений.

### **Расчетный анализ параметров поперечной струи, распространяющейся в сносящем потоке**

Ярмаш А.Д.

Научный руководитель – Онищик И.И.

МАИ, г. Москва

Поперечные струи, распространяющиеся в сносящем потоке, применяются во многих технических отраслях (авиастроении, авиадвигателестроении, теплоэнергетике, химических технологиях, металлургии и др.)

Изучение распространения струй в поперечном потоке вызывает большой интерес, так как они относятся к особому классу пространственных струй, развивающихся в несимметричных условиях при наличии продольного и поперечного градиентов давлений.

С развитием численных методов расчета и моделирования течений представляется важным сопоставление результатов расчета с экспериментальными данными, что необходимо для совершенствования методов расчета и проектирования приведенных выше устройств.

В данной работе расчетная модель представлена в виде двух каналов прямоугольного сечения, по которым протекает воздух, имеющий различную температуру. Через отверстие в стенке, разделяющей каналы, воздух перетекает из одного канала в другой, образуя поперечную струю.

В программе ANSYS строится 3D-модель течения в каналах в пределах расчетной области. С помощью полуавтоматического генератора сеточных моделей была построена сеточная модель – неструктурированная тетра-сетка. Вблизи разделяющей каналы плоскости в пределах пограничного слоя была добавлена структурированная гекса-сетка.

Граничные условия граничные условия: значения полных давлений и температур воздуха на входе в каналы ( $p_{1ex}^*$ ,  $p_{2ex}^*$ ,  $T_{1ex}^*$ ,  $T_{2ex}^*$ ) статическое давление на выходе ( $p_{2вых}$ ).

В расчетах использовались следующие модели турбулентности: ShearStressTransport, k-Epsilon, k-Omega, DetachedEddySimulation.

По результатам расчета проведен анализ: очертаний струи (передняя граница, ширина струи), распределение температур в плоскости симметрии струи, распределение давлений и скоростей в каналах.

По результатам расчета проводился анализ распределения температур в поле течения струи, а также давлений в окрестности отверстия через которое истекал воздух, образующий струю. В итоге определялись коэффициенты расхода отверстия, координаты передней границы, ширины струи и ее глубина проникновения. Сопоставление полученных результатов с экспериментальными данными, приведенных в научно-технической литературы, показало в целом их удовлетворительное соответствие. Можно отметить, что с удалением от устья струи величины передней границы и ширины струи оказываются несколько заниженными (на 5-7%) по сравнению с экспериментом. Возможно это связано с тем, что при расчете не учитывалась реальная интенсивность массообмена в экспериментальных установках.

Таким образом, можно сделать вывод от том, что применённые методы и результаты расчета могут быть использованы для анализа рабочего процесса различных технических устройств.

## **Влияние параметров рабочего процесса двигателя на экологические характеристики камеры сгорания**

ДжонХе Су

Научный руководитель – Онищик И.И.

МАИ, г. Москва

Снижение выбросов загрязняющих веществ, основными из которых являются окислы азота  $NO_x$  и окись углерода  $CO$ , является важной проблемой двигателестроения. Параметром, используемым при нормировании этих веществ, является удельная масса выброса  $\omega_j$ , представляющая собой отношение суммарной массы выброса вещества  $j$  за цикл взлетно-посадочных операций к взлетной тяге двигателя ( $г/кН$ ). Поскольку вцикл входят практически все основные режимы работы двигателя, то в докладе представлены результаты анализа параметров рабочего процесса камеры сгорания на этих режимах, полученные путем расчета дроссельных характеристик двигателяпри различных значениях суммарной степени сжатия воздуха в компрессоре  $\pi_k$ , температуры газа перед турбиной  $T_g$ , степени двухконтурности $m$ . Показано, что с увеличением расчетных значений $\pi_k$  пропорционально им возрастают величины давления за компрессором и на дроссельных режимах, увеличение же температуры воздуха за компрессором происходит более интенсивно вследствие снижения к.п.д. компрессора с ростом степени сжатия. Это способствует снижению выбросов  $CO$  особенно на критическом для них режиме малого газа.

На выбросы загрязняющих веществ влияет также объем камеры сгорания. Его минимально допустимые значения определялись по приближенной методике каф. 201 МАИ при высоте запуска в полете  $H = 10$ км. Затем, с использованием данных научно-технической литературы определялись значения индексов выбросов  $CO$  и  $NO_x$ , рассчитывались величины удельных масс  $\omega_j$  и сопоставлялись с существующими нормами. В результате были выявлены области, где нормы могут быть удовлетворены без существенной модернизации камеры сгорания и где потребуется ее существенная доработка. В ряде случаев была выполнена оценка эффективности предполагаемых мероприятий.

По выводу из расчета характеристик камеры сгорания при различных значениях суммарной степени сжатия воздуха в компрессоре лк, температуры газа перед турбиной Тг, степени двухконтурности m рекомендуется применять оптимальное значение параметров рабочего процесса камеры сгорания(ωj) чтобы получить минимальное значение выбросов загрязняющих веществ, основными из которых являются окислы азот NOx и окись углерода СО при высоких значениях Тг и лк.

### **Пути развития конструктивных схем форсунок двигателей марки «НК»**

Новиков С.Н., Терентьев А.А., Шигапов Р.Р.

Научный руководитель – Алтунин В.А.

КНИТУ-КАИ им. А. Н. Туполева, г. Казань

Известно, что при работе авиационных воздушно-реактивных и газотурбинных двигателей (ВРД, ГТД) происходит интенсивный нагрев деталей, в том числе топливно-подающих каналов и топливных форсунок. Именно температура является виновником негативного процесса осадкообразования. Из опыта эксплуатации авиационных ВРД, ГТД, например, двигателя марки НК-8-2У, известно, что через 900 циклов работы практически закоксовываются все форсунки. Частичное закоксовывание форсунок приводит к частичной потере тяги, а полное закоксовывание – к обнулению тяги. Частичное закоксовывание даже только одной форсунки может привести к нерасчётному струйному распылу жидкого углеводородного горючего, к локальному прогару жаровой трубы, к пожару и взрыву двигателя и всего летательного аппарата (ЛА). Закоксовывание деталей топливно-регулирующей аппаратуры приводит к большим затруднениям в системе управления ЛА, а иногда – и к неуправляемости и к разному всего двигателя.

Твёрдый углеродистый осадок начинает образовываться при температуре стенок форсунки более 373К. В докладе на основе экспериментальных исследований проведён полный анализ существующих и перспективных способов борьбы с осадкообразованием в двигателях и энергоустановках ЛА на жидких углеводородных горючих и охладителях.

К перспективным способом борьбы с осадкообразованием можно отнести:

Способы по предотвращению углеродистого осадка:

- конструктивное размещение нагреваемых деталей (например, топливных форсуночных фильтров) в зону с наименьшими нагревами (до 373К);
- конструктивное создание наружного дополнительного охлаждения корпуса форсунки (без электростатических полей, с полями);
- применение электростатических полей (для борьбы с осадкообразованием. Для интенсификации теплоотдачи к жидким углеводородным горючим и охладителям);

Способы по ограничению роста углеродистого осадка:

- - конструктивное создание оребрѐнной поверхности в виде конусных искусственных интенсификаторов теплоотдачи (для ограничения роста твёрдого углеродистого осадка);

- - применение электростатических полей;
- Способы по удалению углеродистого осадка:
  - конструктивное размещение осевой соосной рабочей иглы (для контроля за степенью закоксованности выходного канала распылителя форсунки, для удаления осадка);
  - конструктивное создание заменяемых деталей в кассетах (распылителей, фильтров);
  - применение термоакустических автоколебаний давления и металлов с «памятью форм».

Авторами разработаны и запатентованы: новые способы борьбы с углеродистым осадком (без электростатических полей, с полями, гибридно), новые конструктивные схемы топливных форсунок, фильтров и каналов. Создан алгоритм учёта особенностей тепловых процессов в жидких углеводородных горючих и охладителях при проектировании, создании и эксплуатации новых форсунок, фильтров и каналов. Применение результатов исследований и новых разработок будет способствовать созданию перспективных отечественных авиационных двигателей повышенных характеристик по ресурсу, надёжности, безопасности и экономичности.

### **Использование «Метода группового учёта аргументов» для оптимизации управляющего воздействия на размер циркуляционных зон в импульсной камере сгорания**

Майрович Ю.И.

Научный руководитель – Сафарбаков А.М.

Иркутский филиал МГТУ ГА, г. Иркутск

Для построения математической модели изменения объема циркуляционных зон в импульсной камере сгорания в место традиционного регрессионного анализа используется Метод группового учета аргументов, МГУА (Group Method of Data Handling, GMDH) [1] – метод порождения и выбора регрессионных моделей оптимальной сложности. Под сложностью модели в МГУА понимается число параметров. Для порождения используется базовая модель, подмножество элементов которой должно входить в искомую модель. Для выбора моделей используются внешние критерии, специальные функционалы качества моделей, вычисленные на тестовой выборке.

Назначается базовая модель, которая описывает отношение между зависимой переменной  $y$  и свободными переменными  $x$ . Например, используется функциональный ряд Вольтерра, называемый также полиномом Колмогорова-Габор. Известно, что при увеличении степени этого полинома точность приближения им функции  $y$  возрастает, а потом убывает. В момент, когда точность максимальна, процесс усложнения модели прекращается.

Для сравнения и выбора лучших моделей применяются внешние критерии, основанные на разделении выборки на две и более частей, причем оценивание параметров и проверка качества моделей выполняются на разных подвыборках данных. Это позволяет обойтись без обременительных априорных предположений, поскольку разделение выборки позволяет автоматически учесть

различные виды априорной неопределенности при построении модели. Критерий выбора модели может быть назван внешним, если он получен с помощью дополнительной информации, не содержащейся в данных которые использовались при вычислении параметров моделей. Возможен выбор моделей по нескольким внешним критериям. В качестве внешнего критерия используется критерий регулярности [2], т. е. реализация выборки  $N$  делится на реализацию обучающей выборки  $N_A$ , при помощи которой оцениваются параметры модели, и реализацию проверочной выборки  $N_B$ , при помощи которой осуществляется выбор пригодной модели. Критерий регулярности определяет среднеквадратичное отклонение модели на проверочной выборке.

Для построения уравнения регрессии используется комбинаторный алгоритм, который являлся одним из первых алгоритмов, реализующих основные положения метода группового учета аргументов [2,3]. Алгоритм использует полиномиальный базис функций для генерации структур моделей и метод наименьших квадратов для оценки их параметров. Идея алгоритма состоит в организации полного перебора всех полиномов в рамках заданных ограничений с целью нахождения структуры и параметров, минимизирующих значение внешнего критерия качества моделей.

## **Методика экспериментального исследования течения рабочего тела в радиальном зазоре рабочего колеса осевого компрессора**

Гогаев Г.П., Исаев А.М., Мухамедьяров Р.Р.

Научный руководитель – Черкасов А.Н.

ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж

Одним из требований, предъявляемых к истребителям пятого поколения, является требование их сверхманёвренности, что невозможно обеспечить без применения двигателей следующего поколения. Поэтому актуальной задачей является создание двигателя пятого поколения. К таким двигателям предъявляются всё более жёсткие требования, обеспечения эффективности и надёжности. В свою очередь эффективность и надёжность двигателя во многом определяются техническим совершенством и устойчивостью работы компрессора. Таким образом, работа, направленная на повышение коэффициента полезного действия (КПД) осевого компрессора (ОК) и увеличение запасов его газодинамической устойчивости является актуальной.

В проточной части компрессора, между внутренней поверхностью корпуса и торцами рабочих лопаток существует радиальный зазор, который обеспечивается для предотвращения взаимных касаний между ротором и статором. Величина радиальных зазоров влияет: на эффективность процесса сжатия воздуха в компрессоре и, в конечном итоге, на его КПД; газодинамическую устойчивость; на перетекание воздуха через зазоры под действием разности давлений. Чем меньше высота лопатки и больше зазор, тем в большей степени снижается КПД и запас газодинамической устойчивости. Увеличение радиального зазора на 1% приводит к падению КПД на 1...3% [1].

Поэтому в процессе проектирования компрессора необходимо решить задачу по обеспечению оптимальных зазоров в процессе эксплуатации на всех режимах работы.

Целью представленной работы является исследование течения потока в радиальном зазоре рабочего колеса (РК) ОК для дальнейшей разработки эффективных способов управления этими течениями и формирования современных технических требований к силовой установке истребителя.

Сущность работы заключается в выявлении характерных картин течения рабочего тела в радиальном зазоре РК осевого компрессора, их последующего анализа с точки зрения разработки эффективного способа активного управления вторичными течениями.

Работа научно-практической группы была направлена на выполнение следующих основных задач:

- Разработка методики экспериментального исследования течения рабочего тела в радиальном зазоре рабочего колеса ОК.
- Модернизация экспериментальной установки «Ступень осевого компрессора» [2].

В качестве результатов проделанной работы получены картины течения потока в радиальном зазоре рабочего колеса. Их анализ позволит разработать эффективные способы управления вторичными течениями в исследуемой области.

Разработана методика экспериментального исследования способов повышения эффективности силовых установок боевых летательных аппаратов, посредством которой возможно разработать эффективные управляющие воздействия как на уровне узлов авиационного двигателя, в частности, осевого компрессора, так и с выходом на характеристики двигателя в целом и на характеристики системы «двигатель-самолёт». Это позволит сформировать современные технические требования к силовым установкам перспективных боевых летательных аппаратов.

### **Эжектор с двухфазным рабочим телом**

Антоновский И.В., Гузенко А.А.

Научный руководитель – Лепешинский И.А.

МАИ, г. Москва

Рассматривается эжектор с двухфазным газокapельным рабочим телом, в котором жидкость эжектирует газ. Устройства такого типа имеют широкое применение на установках для создания высотных условий на испытательных стендах авиационных и ракетных двигателей, путем эжектирования воздуха из установки, и, таким образом, ее вакуумирования.

В данной работе исследовался вопрос эффективности газожидкостного эжектора со смесителем с двухфазным рабочим телом. Для оценки эффективности такой системы ее работа сравнивалась с работой эжектора, в котором смесительное устройство было однофазным жидкостным. Эффективность работы эжекторов, которые работали при одинаковых условиях по расходу и давлению жидкости, сравнивалась по коэффициенту эжекции.

Эжектор №1 с двухфазным рабочим телом и двухфазным смесителем (эжектирующей средой является газокapельная смесь, получившаяся в смесителе, эжектируемой – воздух из атмосферы)

Эжектор №2 с двухфазным рабочим телом и однофазным жидкостным

смесителем (эжектирующая среда – жидкость из смесителя, эжектируемая среда – воздух из атмосферы)

Эжекторы исследовались на одинаковых режимах со следующими начальными параметрами: давление в смесителе  $P_{см}=30$  атм; расход жидкости  $G_{ж}=200$  г/с; расход газа, подаваемого в смеситель №1  $G_{г} = 5$  г/с;  $P_{н} = 1 \cdot 10^5$  Па – давление на выходе из эжектора (атмосферное давление);  $T_{ж} = T_{г} = 288$  К – температура жидкости и газа.

Для эксперимента с эжекторами использовались смесители с несколькими выходными (сопловыми) отверстиями. Смеситель эжектора №1 имел 7 сопловых отверстий, смеситель эжектора №2 имел 4 отверстия диаметром 1мм. Это обеспечило получение одинаковых параметров по расходу и давлению.

Также использовалась относительно короткая цилиндрическая камера смешения длиной 10 калибров начального диаметра камеры смешения. Исследовалось сравнительное влияние площади проходного сечения для эжектируемого воздуха на коэффициент эжекции.

Расход эжектируемого воздуха и коэффициент эжекции оказались выше у эжектора №1 примерно на 20%. Это можно объяснить следующим. Измеренные значения скоростей из смесителей составили соответственно 87м/с для смесителя эжектора №1 и 74м/с для смесителя эжектора №2. Поэтому средняя дисперсность капель смесителя эжектора №1 оказывается меньше дисперсности капель смесителя эжектора №2. Теоретические расчеты показали, что с уменьшением размера капель коэффициент эжекции должен увеличиваться.

По результатам исследования были сделаны выводы, что большая эффективность эжектора №1 (с двухфазным смесителем) по сравнению с эжектором №2 обеспечивается использованием смесителя с двухфазным рабочим телом.

## **Перспективные направления совершенствования конструкций современных авиационных ГТД**

Игумнова А.С., Нестеренко В.В., Имаев Т.Ф.

Научный руководитель – Нестеренко В.Г.

МАИ, г. Москва

В настоящее время ведётся проработка конструктивного облика авиационных ГТД военного и гражданского назначения поколения 2020-2025 годов, рассматриваются технические возможности повышения всех технических параметров этих двигателей, объединяемых показателем стоимости жизненного цикла (СЖЦ). Методология таких работ основывается на параллельном совершенствовании методик расчёта основных параметров и исследования конструктивного облика возможных проектов двигателей нового поколения, с учётом применения перспективных материалов и технологий их изготовления и сборки. Особенно актуальны работы по существенному увеличению надёжности и ресурса этих двигателей, всех узлов горячей и холодной части, включая агрегаты и трубопроводы наружной обвязки и их расположения в силовой установке летательного аппарата. В представленной работе содержатся три взаимосвязанных направления совершенствования конструкций перспективных ГТД, которые направлены на решение задач согласования параметров и

характеристик компрессора и турбины перспективных ТРДД большой степени двухконтурности, а также повышения надёжности и эксплуатационных характеристик силовой установки летательного аппарата. *В первой части работы* рассматриваются конструкции вариантов проектирования лопаток рабочего колеса вентилятора редукторных и без редукторных ТРДД с большой степенью двухконтурности, с учётом имеющегося опыта проектирования этих лопаток сплошными или полыми, из титанового сплава, а также из неметаллических материалов, широко-хордных, с фланцевыми соединениями их с диском, включая оценку возможного снижения их массовых характеристик. Требования 3D проектирования приводят к существенному изменению взаимного положения отдельных сечений по высоте с целью обеспечения их высокой газодинамической эффективности. В то же время необходим выбор оптимальных относительных толщин профилей этих лопаток с целью получения необходимых вибрационных характеристик, не допущению появлению автоколебаний, приводящих их к разрушению. В процессе эксплуатации необходимо обеспечить возможность замены этих лопаток, получивших повреждения, не допустимые для их дальнейшего использования. *Во второй части работы* рассматриваются воздушные полости перспективных ТРДД, особенности их проектирования с целью снижения уровня втеканий в проточную часть двигателя, в критичных местах, приводящих к существенному снижению КПД двигателя. Для примера, рассмотрена возможность снижения уровня втеканий воздуха в корне рабочего колеса ТВД ТРДД с высокими значениями степени сжатия компрессора, где 1% втекающего воздуха из внутренней полости турбины приводит к 3-мя % снижения её КПД. *В третьей части работы* представлено конструктивное решение поворотных лопаток решётчатого реверса тяги авиационных ТРДД, обеспечивающее компенсацию боковых сил от воздействия воздуха при посадке летательного аппарата, которые в ряде случаев приводили к аварийной ситуации, связанной с нарушением необходимой посадочной траектории при его посадке на аэродром.

### **Исследование распределения импеданса по поверхности звукопоглощающих конструкций для каналов авиационных двигателей**

Ипатов М.С.

ФГУП «ЦАГИ», г. Москва

Одним из эффективных способов уменьшения шума вентилятора и турбины авиационного двигателя является установка звукопоглощающих конструкций (ЗПК) на стенках каналов, вдоль которых распространяется шум. В соответствии с характером создаваемого шума ЗПК должны эффективно воздействовать как на дискретные составляющие, так и на широкополосную часть спектра.

Учитывая высокие требования по эффективности, предъявляемые к звукопоглощающим конструкциям, чрезвычайно важно, чтобы импедансные характеристики не изменялись по площади ЗПК, поскольку любые отклонения импеданса в ту или другую сторону от заявленного значения ухудшают звукопоглощающие свойства конструкций. Эти отклонения могут вызываться многими причинами: это неодинаковые отверстия по площади ЗПК в результате

недостаточно качественной пробивки (закругленные края, эллиптическая форма и т.д.), различная степень перекрытий отверстий стенками сотового заполнителя в разных местах облицовки, неконтролируемое затекание отверстий внутренних перфорированных листов клеем и т.д.

В данной работе был проведен эксперимент по определению акустических параметров ЗПК и распределению импеданса по поверхности конструкции. В качестве образцов были выбраны три вида ЗПК: однослойная, двухслойная и трёхслойная сотовые конструкции. Измерения проводились с помощью портативной системы измерения импеданса типа 9737 фирмы Брюль и Кьер, при воздействии на панель ЗПК широкополосным шумом с суммарным уровнем звукового давления 145 дБ. Измерения каждой панели проводились в пяти точках, равномерно распределенных по поверхности образца.

По результатам измерений можно сделать вывод, что с уменьшением числа слоев ЗПК уменьшается разброс импедансных характеристик, связанных с неоднородностью распределения импеданса по площади звукопоглощающей панели. Если обобщить частотные зависимости импедансных характеристик для трехслойной, двухслойных и однослойных ЗПК, то можно выделить «коридоры», куда с большой долей вероятности попадают измеренные значения импедансных характеристик. Следует подчеркнуть, что этот разброс определяется исключительно не идентичностью соседних ячеек, а не точностью определения импеданса.

Возможно, применить полученную в ходе эксперимента методику для определения отклонений импедансных характеристик ЗПК в составе реальных кожухов авиационного двигателя от ожидаемых значений.

## **Исследование критериев слышимости летательных аппаратов с винтомоторной силовой установкой**

Мошков П.А.

ФГУП «ЦАГИ», г. Москва

Постоянное развитие малой и беспилотной авиации в нашей стране делает актуальной проблему шума на местности летательных аппаратов (ЛА) с винтомоторной силовой установкой (СУ).

Поэтому актуальной является проблема оценки границ зоны слышимости летательных аппаратов с винтомоторной силовой установкой с целью обеспечения трасс полета воздушных судов без возможности их слышимости наблюдателем.

Для решения вышеизложенных проблем необходимо исследование критериев слышимости ЛА с винтомоторной СУ. Использование критерия слышимости ЛА в прогностических моделях позволяет установить предельное расстояние между источником и наблюдателем при уменьшении которого ЛА будет обнаружен наблюдателем по его акустическому излучению.

Целями настоящей работы являются: выполнение летных акустических испытаний различных ЛА, направленных на установление критерия слышимости ЛА с винтомоторной СУ, и разработка методики расчетной оценки координат границ зоны слышимости ЛА различного назначения.

Конечной целью акустических испытаний являлось установление величины критерия слышимости источника шума в моменты времени, соответствующие началу (при приближении) или окончанию (при удалении) слышимости самолета.

Акустические измерения выполнялись согласно рекомендуемой ИКАО методике проведения сертификационных испытаний самолетов.

На режимах горизонтального полета ЛА определялись характерные моменты времени – это момент начала слышимости самолета и момент окончания слышимости. Сравнение для данных моментов времени измеренных значений суммарного уровня звукового давления, скорректированного по шкале «А» стандартного шумомера самолета и среднего значения суммарного уровня звукового давления природного фона в единицах дБА в точке наблюдения и позволило установить адекватность предложенного критерия слышимости и адекватность субъективной возможности выделения шума ЛА из природного фона [1]. Установлено, что ЛА становится слышимым для наблюдателя уже при величине критерия слышимости 2дБА.

### **Повышение экономичности работы паровых и газовых турбин**

Волженцов А.А.

Научный руководитель – Осипов А.В.

БГТУ, г. Брянск

В настоящее время значительная часть установленных мощностей паро- и газотурбинного оборудования исчерпали свой паркочный ресурс, в связи с чем актуален вопрос их модернизации. Повышения эффективности работы проточной части турбоагрегатов можно достичь за счет снижения периферийных утечек в безбандажных и обандаженных ступенях паровых и газовых турбин.

В обандаженных ступенях это может быть достигнуто благодаря выбору оптимального значения периферийной перекрыши рабочих лопаток. В БГТУ была получена зависимость, позволяющая приблизительно определить наиболее выгодное значение перекрыши. Также была предложена конструкция периферийного сотового уплотнения с изменяемой геометрией, позволяющего на виброопасных режимах (пуска и останова) работать с увеличенными зазорами, а на номинальном режиме – с уменьшенными, что дает снижение утечек рабочего тела приблизительно на 30% по сравнению с базовой конструкцией. Достигается это за счет выполнения бандажа рабочих лопаток из никелида титана – износостойкого материала, выдерживающего до  $10^6$  циклов деформаций и обладающего эффектом памяти формы. Это позволяет предварительно «запрограммировать» геометрическую форму гребня бандажа, предусмотрев ее изменение в зависимости от температуры лопаточного венца. Так, в процессе пуска и останова турбоблока, когда ротор недостаточно прогрет или его теплонпряженность уже снизилась, гребень бандажа приобретает изогнутое положение (примерно на  $30^\circ$  в сторону набегающего потока), при этом радиальный зазор в уплотнении составляет 0,7 мм. После выхода турбоустановки на рабочий режим и достижения ротором номинальной температуры гребень бандажа занимает перпендикулярное оси машины

положение, что сокращает радиальный зазор в уплотнении до 0,3 мм. Это позволяет проходить наиболее виброопасные пусково-остановочные режимы при увеличенных радиальных зазорах, практически исключив касание гребнями сотоблоков и, как следствие, их износ.

Для безбандажных ступеней предлагается на внешнем обводе рабочего колеса (РК) выполнить винтовые профильные канавки, создающие эффект запираения потока у периферии. В БГТУ на экспериментальных воздушных стендах было установлено, что при оптимальном угле наклона винтовых профильных канавок, составляющем  $15^\circ$  к плоскости вращения РК, прирост КПД для ступени средней веерности составляет около 1% по сравнению с вариантом с гладким обводом.

С целью повышения надежности безбандажных ступеней часто используют заостренные концы РЛ (высота подрезки составляет 2...3 мм в зависимости от радиальных зазоров), так как в этом случае возможна сборка машины с их минимальными размерами. Как правило, заострение выполняется со стороны спинки. Несколько большая экономичность, чем в конструктивном варианте с периферийной кромкой, может быть достигнута при выполнении такого заострения по всему контуру профиля у его вершины (создание поллой камеры глубиной 2...3 мм в средней части внешнего сечения лопатки). Такую конструкцию РЛ целесообразно применять и в ступенях, оснащенных периферийными винтовыми канавками.

Использование разработанных вариантов модернизации проточной части турбомашин будет способствовать повышению эффективности и надежности энергоблоков, обеспечит улучшение экологических показателей установок за счет снижения их виброакустической активности.

## **Разработка универсальной турбодетандерной установки**

Гурьев Э.Е.

Научный руководитель – Зинчук А.А.

МАИ, г. Москва

Экспертные оценки свидетельствуют, что в нынешнем столетии роль природного газа в энергетике большинства стран будет возрастать. Опубликованные прогнозы свидетельствуют, что к 2030 году потребление газа в мире может удвоиться, а межрегиональные поставки утроиться. В России за 20 лет планируется увеличение добычи природного газа на 27 %, и общий объем добываемого газа будет достигать 750 млрд. куб. м в год. Доля природного газа в мировом топливно-энергетическом комплексе, как ожидается, в первой половине XXI века возрастет до 30 %, а в России к 2017 году составит 58 %. Для решения проблемы энергосбережения в транспортных системах все шире используются системы утилизации энергии, одной из которых является турбодетандер.

В настоящей работе представляются результаты расчетов и предварительного конструкторского поиска облика универсальной турбодетандерной установки (УТДУ). Установка, работая на магистральном природном газе, не затрачивая его, должна обеспечивать получение электроэнергии.

При подготовке научной работы был выполнен краткий обзор публикаций, в которых содержатся сведения по разработке и промышленной эксплуатации

некоторых типов установок, вырабатывающих дополнительную электроэнергию. При выполнении теоретических и расчетных исследований, использовались современные методики теории и проектирования турбин, работающих на природных газах или продуктах сгорания углеводородных топлив. Конструкторские проработки выполнялись, в основном, ориентируясь на типовые конструкторские решения, применяемые в ракетной технике.

В данной работе описывается использование турбодетандерной установки в газовой промышленности, её преимущества, а также требование к участку ГРС. Описаны принципиальные схемы зарубежных и отечественных турбодетандеров и турбопривода.

В результате работы получены:

- Результаты расчётных исследований активной турбины с изменяемой парциальностью.
- Описано использование турбодетандерной установки в газовой промышленности, её преимущества, а также требование к участку ГРС
- Описаны принципиальные схемы зарубежных и отечественных турбодетандеров и турбопривода.
- Проведены расчетные и конструкторские работы по созданию турбодетандерной установки для понижения давления магистрального природного газа с одновременной выработкой электроэнергии.
- Разработана технологическая схема универсальной турбодетандерной установки без подогрева природного газа.
- Проведено расчетное исследование по обоснованию применения осевой активной турбины в качестве силового агрегата для вращения электрогенератора переменного тока.
- Разработана конструктивная схема универсальной турбодетандерной установки с активной турбиной эффективной мощности от 50 до 600 кВт.

## **Исследование конструкций лопаток высокотемпературных турбин авиационных ГТД с теплозащитными покрытиями нового поколения**

Шульженко Д.А., Любатуров А.М.

Научный руководитель – Нестеренко В.Г.

МАИ, г. Москва

Высокие температуры газа на входе в турбину газогенераторов современных и перспективных авиационных ГТД военного и гражданского назначения, максимальные значения которых достигают 2000...2100 К, требуют одновременного существенного совершенствования их системы охлаждения, а также материалов, из которых они изготавливаются и теплозащитных покрытий (ТВС), неметаллических покрытий со способностью термической изоляции, позволяющих снизить уровень температур, воспринимаемых профильной части пера лопаток соплового аппарата и рабочего колеса турбины. Указанный выше уровень температур, воздействующий на лопатки турбин, не является максимальным. Его следует увеличить, для сопловых лопаток турбин, на величину окружающей и радиальной неравномерности температурного поля горячего газа на входе в турбину. Рабочие лопатки турбины вращаются, поэтому

на них действуют осреднённые, а не максимальные температуры горячего газа. Существующая наиболее эффективная система плёночного охлаждения наружных поверхностей лопаток в ряде конструкций оказывается недостаточно эффективной на участках, расположенных в зоне их воздействия, из-за так называемых вторичных токов, отклоняющих траектории охлаждающего воздуха от расчётных направлений. В этом случае основным способом, защищающим детали турбин от воздействия высоких температур, является нанесение ТВС. ТВС нового поколения, толщиной в «бумажный лист», позволяют деталям из жаропрочных никелевых сплавов работать при температурах на 100-150 °С выше температуры плавления. Идеальным материалом для нанесения покрытий является оксид циркония, стабилизированный иттрием. Дендритная структура ТВС, представленная в иллюстративной части доклада, произведенная в вакуумных установках EB/PVD, с узкой нижней частью и свободной верхней, позволяет покрытию выдерживать высокие механические нагрузки, вызываемые тяжелыми, быстро меняющимися температурными циклами, как в авиационных, так и стационарных газовых турбинах. Между поверхностью лопаток и ТВС, для улучшения взаимодействия между этими двумя слоями, наносится диффузионное барьерное покрытие, которое состоит из тонкого слоя керамики  $Al_2O_3$ , сверху связующего покрытия. Это необходимое условие для нанесения ТВС. Оно создается перед нанесением ТВС внутри установки EB/PVD, обеспечивающей электронно-лучевое нанесение покрытий методом осаждения из паровой фазы путем окисления поверхностного алюминия связующего покрытия из  $MgAlY$  или  $PtAl$ . В заключительной части доклада представлен график, характеризующий теплозащитные свойства покрытий лопаток турбин различных поколений, показывающий возможность их работы с новым покрытием без охлаждения до температуры 1250°С.

### **Сверхтвердые материалы, способы получения и области применения**

Джаджарми М.М.

Научный руководитель – Бойцов А.Г.

МАИ, г. Москва

Выполнен анализ новых исследований в области создания и применения сверхтвердых материалов, композитов и покрытий на их основе для повышения эффективности процессов лезвийной и абразивной механической обработки.

С развитием производства изделий из труднообрабатываемых материалов таких как керамики, керамокомпозиты, интерметаллидные сплавы, композиционные материалы с высокопрочными и твердыми волокнами, дисперсноупрочненные и модифицированные сплавы и проч. увеличивается использование для их обработки инструмента из сверхтвердых материалов. Без его применения механическая обработка перечисленных материалов проблематична или невозможна. Поскольку для производства инструмента применяют исходное сырье синтетического происхождения, интенсивно развиваются методы его получения. Современные технологии позволяют синтезировать сырье из алмазов и кубического нитрида бора с высокой прочностью и теплостойкостью, методами CVD выращивать

поликристаллические алмазные пленки толщиной до 1000 мкм, наносить алмазные, алмазоподобные, нитридные, многослойные и комплексные покрытия на твердосплавный инструмент, а детонационным способом получать наноалмазные порошки для синтеза сверхтвердых композитов и финишной обработки. В последние годы разрабатываются новые типы сверхтвердых материалов и ассимиляции таких материалов, в частности, нитрид углерода, сплав бор-углерод-кремний, нитрид кремния, сплав карбид титана-карбид скандия, сплавы боридов и карбидов подгруппы титана с карбидами и боридами лантаноидов. Наиболее яркими новшествами в направлениях создания и применения сверхтвердых материалов являются:

- расширение применения высокопрочных и термостойких алмазов, в том числе получаемых по технологиям термохимического осаждения (CVD – алмазы);

- новые технологии формирования алмазного рабочего слоя (электроразрядное спекание (SPS), CVD, сверхзвуковое газопламенное напыление (HVOF), газодинамическое (холодное) напыление, вакуумная пропитка материалом связки в графитовых формах или керамических формах, получаемых с применением выплавляемых моделей и др.;

- новые сверхтвердые композиционные инструментальные материалы с высоким содержанием алмазной фазы, алмазно-твердосплавные, жаростойкие инструментальные материалы на основе кубического нитрида бора (КНБ) на вольфрам-рениевой, керамических и металлокерамических матрицах;

- приобретение опыта по обработке новых материалов (композитов на полимерной и металлической основах углерод-углеродных композитов, керамик, керамокомпозитов, графитовых материалов);

- создание новых и совершенствование существующих технологий обработки лезвийным и абразивным алмазным инструментом: твердое точение, высокоскоростное шлифование, алмазное точение, микрообработка, финишные методы обработки и упрочнения инструментом из сверхтвердых материалов.

## **К вопросу о минимизации вредных выбросов камеры сгорания ГТД** Духова М.А.

Научный руководитель – Белова С.Е.  
РГАТУ им. П.А. Соловьёва, г. Рыбинск

В связи с постоянно растущим вниманием к охране окружающей среды, основным требованием из общего перечня требований к КС ГТД на ближайшую перспективу по-прежнему остается обеспечение низких уровней выбросов вредных веществ. При этом одновременно делается упор на снижение стоимости жизненного цикла, куда входит стоимость изготовления, ремонта и технического обслуживания.

ГТД относятся к крупным источникам выбросов оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) и углерода (СО), в связи с этим возникает необходимость разработки и совершенствования методов контроля и сокращения вредных выбросов. Концентрации основных загрязнителей атмосферного воздуха – оксидов азота и углерода – в значительной степени зависят от режимов сгорания топливного газа и технического состояния ГТД.

Способы снижения NOx в отработавших газах конвертированных газотурбинных установок

1. Подача в зону горения пара или воды. Впрыск в зону горения пара и воды является наиболее простым и широко апробированным способом снижения NOx.

2. Интенсификация смесеобразования в камере сгорания. Интенсификация смесеобразования в полости пламенной трубы сокращает характеристическое время смесеобразования.

3. Гомогенные камеры сгорания.

Способы снижения CO в отработавших газах конвертированных газотурбинных установок

1. Улучшение распыливания топлива с целью ускорения процесса испарения топлива и способствование созданию гомогенной горючей смеси

2. Увеличение объема первичной зоны и времени пребывания в ней.

3. Уменьшение расхода воздуха на пленочное охлаждение жаровой трубы

Увеличение доли воздуха, подаваемого вдоль внутренней стенки жаровой трубы в сочетании с неизбежным уменьшением воздуха, подаваемого в зону смешения, ухудшает равномерность поля температур газа за КС. Более того, охлаждающий воздух вызывает «замораживание» химических реакций при горении вблизи стенки. Это приводит к понижению полноты сгорания и увеличению выброса окиси углерода и несгоревшего углеводорода. В связи с этим, уменьшение количества поясов охлаждающего воздуха благотворно влияет на снижение вредных выбросов. Снижение эмиссии NOx на 47%, Снижение CO на 69%. Данный способ имеет недостаток – организация пояса охлаждения связана со снижением прочностных характеристик элемента жаровой трубы. Так, для повышения стойкости материалов к газовой коррозии контактирующие с горячими газами поверхности жаровых труб покрывают жаростойкой стеклокристаллической эмалью. Широкое распространение находит применение керамических теплозащитных покрытий  $ZrO_2 + Y_2O_3$  толщиной 0,2...1 мм напыляемых на поверхности деталей КС, соприкасающиеся с горячими газами. Эти покрытия обладают малой степенью черноты и низкой теплопроводностью, что обеспечивает снижение температуры поверхности детали на 30...100°C в зависимости от толщины покрытия и интенсивности охлаждения.

Анализ результатов расчетов показал, что предлагаемые способы дают снижение концентрации NOx на 50 %, а CO на 75 %. Вместе с тем применение всего комплекса предлагаемых мер сможет дать еще более ощутимый результат в плане повышения экологической безопасности установки.

## **К вопросу о снижении шума реактивной струи ТРДД в источнике**

Колтырина К.Ю.

Научный руководитель – Белова С.Е.

РГАТУ им. П.А. Соловьёва, г. Рыбинск

Проблема шума ТРДД для пассажирских самолетов является одной из наиболее актуальных в настоящее время как для производителей, так и для ученых.

Наибольший вклад в суммарный шум двигателя вносит реактивная струя. Поэтому большой интерес вызывает изучение особенностей акустики реактивной струи и разработка средств и методов глушения шума струи.

Основным источником шума при истечении струи является турбулентные пульсации. Максимум спектральной плотности пульсаций соответствует большим вихрям. Струя, истекающая из сопла, имеет три характерных участка: начальный, переходный и основной. Начальный участок содержит потенциальное ядро и зону смешения с окружающей средой. Из теории воздушно-реактивных двигателей известно, что наибольший вклад в общий шум струи вносит этот начальный участок.

Поэтому, для эффективного снижения шума реактивной струи необходимо найти способ укорочения этого начального участка.

Для смешения потоков первого и второго контуров и активного шумоглушения предлагается устройство, содержащее полые стойки стоечного узла для протекания воздуха второго контура, и задний обтекатель с центральной полостью, сообщающейся с полостями в стойках, для выброса воздуха второго контура в осевую часть зоны его смешения с трактовым газом.

Принцип действия предлагаемого смесительного устройства заключается в следующем. В полые радиальные стойки заднего стоечного узла подается холодный воздух из второго контура ТРДД (причем, второй контур полностью или частично перекрывается в области задних стоек). Затем воздух поступает в полость в заднем обтекателе, откуда выдувается в центральную часть реактивной струи через отверстие, располагающееся по центральной оси двигателя. Вытекая в отверстие в заднем обтекателе, расположенное на оси двигателя, воздух смешивается с трактовым газом в центральном участке струи, разбивая крупные вихри на мелкие, вследствие чего эффективно снижается шум струи.

Для подтверждения эффективности данного способа глушения было выполнено экспериментальное исследование модели заднего стекателя со стоечным узлом. Модель заднего стекателя со стоечным узлом имела две модификации – без отверстия и с отверстием.

Были выполнены замеры полного давления в выходном сечении установки для обеих модификаций экспериментальной модели и замеры шума в среднем сечении задней полусферы. Давление измерялось в 10 сечениях по высоте. Давление измерялось с помощью автоматизированного лабораторного стенда. Данные по распределению избыточного давления (полного) показали конусообразное расположение начального участка струи, что подтверждается исследованиями других авторов.

Анализ результатов позволяет сделать выводы об эффективности предлагаемой конструкции и понять особенности процесса эжекции начального участка струи.

Среднее значение шума в средней плоскости модели без эжекции начального участка струи составляет 80,2 дБ, а с эжекцией – 74,3 дБ. Таким образом достигается снижение шума на 7,35%, что является довольно существенным результатом. При этом следует особо отметить, что данная конструкция не предполагает увеличение массы двигателя.

## **Повышение газодинамической эффективности путем модификации торцевых межлопаточных каналов турбины ГТД**

Харченко Р.В.

Научный руководитель – Вятков В.В.

РГАТУ им. П.А. Соловьёва, г. Рыбинск

Развитие авиационных двигателей по параметрам рабочего процесса привело к усложнению рабочего процесса в проточной части лопаточных машин. Особенно это актуально для высокотемпературных газовых турбин. Проточная часть современных турбин высокого давления уменьшилась, что привело к возрастанию вредного влияния концевых эффектов. Кроме того имеется сложная система охлаждения элементов проточной части (лопаток и торцевых поверхностей). Все это привело к трудностям получения требуемого уровня коэффициента полезного действия (КПД) турбины и к увеличению срока и стоимости доводочных работ. Основным резервом для повышения КПД современных турбин является борьба с так называемыми вторичными течениями в проточной части. При этом в процессе проектирования возникает задача оптимизации проточной части для улучшения характеристик турбины. При проектировании турбины обычно рассматриваются различные варианты её с учетом многих факторов, определяющих её качество (КПД, массы, стоимости, технологичности и т.д.), и выбирается тот, который в наилучшей степени удовлетворяет совокупности этих факторов. Одним из наиболее важных критериев является аэродинамическая эффективность лопаточных венцов соплового аппарата и рабочего колеса. Для повышения аэродинамической эффективности можно пользоваться поиском оптимальной формы торцевых поверхностей [1], однако открытым остается вопрос о выборе критерия оптимизации для различных задач. Возможна оптимизация по потерям в венце, углу выхода потока из ступени или КПД ступени в целом. При этом конструктивный облик торцевых поверхностей будет различным. Выбор критерия оптимизации будет зависеть не только от параметров турбинной ступени, но и конструктивной схемы двигателя.

В ступени турбины имеются три торцевые поверхности, которые подвержены оптимизации. Это периферия и втулка соплового аппарата, а также втулочная поверхность рабочего колеса. Поиск оптимальной торцевой поверхности в сопловом аппарате необходимо вести с учетом динамики вторичных течений. Основной физической смысл оптимальной торцевой поверхности это не допустить активного взаимодействия канального вихря с пограничным слоем на торцевой поверхности и по возможности не допустить контакта канального вихря со спинкой соседней лопатки. При смыкании вторичных вихрей, образовавшихся на противоположных торцевых поверхностях будет происходить и перестройка оптимальных торцевых поверхностей. Кроме того нельзя рассматривать задачу оптимизации торцевых поверхностей без влияния системы охлаждения. Торцевые поверхности сопловых аппаратов современных турбин высокого давления нуждаются в завесном охлаждении. Проблема реализации завесного охлаждения таких поверхностей в условиях наличия интенсивных вторичных течений до настоящего времени не решалась. Решение

этой сложной проблемы позволит обеспечить повышение КПД турбин ГТД и повысить топливную экономичность двигателя в целом.

Литература:

1. Вятков В.В., Карелин Д.В., Ковалев С.А., Томилина Т.В. Разработка конструктивных мероприятий, обеспечивающих снижение вторичных течений потерь в венцах газовой турбины // Омский научный вестник. 2012, Серия 2 (110).

### **Сопоставительный анализ современных малогабаритных воздушно реактивных двигателей**

Королёв Д.И., Соболев А.А., Стручалин М.А.

Научный руководитель – Поняева Т.А.

МАИ, г. Москва

В настоящее время ощущается острая потребность в развитии, модернизации, и производстве универсальных беспилотных летательных аппаратов, применяющихся в разных сферах экономического, социального и военного комплексов нашей страны. Беспилотные летательные аппараты широко внедряются в использование для осуществления географической и военной разведки местности, поисково-спасательных работ, для видео съёмки, отработки методики ведения воздушного боя курсантов военно-лётных училищ, где беспилотным аппаратам отводится роль самолёта противника.

В связи с тем, что двигатель является одной из главных составляющих беспилотного летательного аппарата, наличие силовой установки, оптимально отвечающей современным техническим и экологическим требованиям, является крайне актуальным для сегодняшнего авиастроения.

В связи с динамичным расширением сферы применения беспилотных летательных аппаратов в настоящее время исследование двигателей для БПЛА является крайне актуальной задачей, так как двигатель это одна из главных составляющих летательного аппарата, влияющих на его эффективность.

Цель данной работы состоит в исследовании существующих малогабаритных воздушно-реактивных двигателей, изучение их эффективности в сравнении с другими классами двигателей, и глобальной географии применения.

Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

1. Рассмотрены конструкции и технические характеристики существующих малогабаритных двигателей для беспилотных летательных аппаратов.

2. Изучено влияние различных типов двигателей на окружающую среду (шумовое воздействие и загрязнение воздуха, почвы и воды).

3. Проведён сравнительный анализ технических характеристик двигателей: ТЛ100, МД-120, МД-45, TRS18, NPF301.

4. Сопоставлена технологическая и экономическая эффективность выше указанных двигателей.

В результате проведённых исследований выявлено, что наиболее эффективным с технической и экологической точки зрения является двигатель компании PBS, в связи с его лучшим показателем удельной тяги (отношением мощности к массе).

Основными из выявленных недостатков двигателя ТТ100 являются:

1. Его экономическая неэффективность для России, так как он производится компанией PBS в Чешской Республике.
2. Отсутствие возможности глубокой модернизации данного двигателя.

### **Разработка компьютерной трехмерной визуализации узла авиационного двигателя**

Степанюк С.О., Шоль Д.Е.

МАИ, г. Москва

В настоящее время существует проблема подготовки и переподготовки специалистов в областях эксплуатации, испытаний и проектирования авиационных и машиностроительных объектов в современных системах автоматизированного проектирования, по причине малого количества утвержденных авиационной и машиностроительной промышленностью задач на проектирование. В качестве методики получения практического опыта в проектировании и эксплуатации необходимо применять обратное проектирование на основе существующего натурального объекта. Натурными объектами могут служить музейные экспонаты и изделия снятые с эксплуатации.

Основная часть работы включает в себя практические занятия с компьютером, и с натурным объектом – узлом авиационного и машиностроительного изделия.

Было произведено инструментальное образмеривание и анализ деталей узла авиационного двигателя, твердотельное моделирование узла авиационного двигателя в системе автоматизированного проектирования Autodesk Inventor Professional, создание трехмерной компьютерной визуализации узла авиационного двигателя.

Методы, применяемые в работе: аналитический и инструментальный методы анализа натурального объекта.

Также применялись методики:

- обратного проектирования авиационного изделия,
- компьютерного твердотельного моделирования.

Следует отметить, что данная работа позволила наработать опыт, необходимый для работы в сфере 3D проектирования и решила вопрос продления срока эксплуатации узла. Работа включает в себя несколько важных этапов: образмеривание, моделирование и создание трехмерной твердотельной модели.

В результате проделанной работы были приобретены навыки необходимые для работы в отраслях авиастроения и машиностроения.

## Перспективные технологии аддитивного производства

Шахривар Сахар М.

Научный руководитель – Бойцов А.Г.

МАИ, г. Москва

Выполнен анализ новых исследований в области создания и применения технологий аддитивного производства (АП). Суть АП состоит в послойном построении, послойном синтезе изделий моделей, форм, мастер-моделей и т. д. путем фиксации слоев модельного материала и их последовательного соединения между собой различными способами: спеканием, сплавлением, склеиванием, полимеризацией в зависимости от физических и металлургических принципов конкретной технологии. В настоящее время на рынке существуют различные ТАП, производящие модели по различным технологиям и из различных материалов. Однако общим для них является послойный принцип построения модели. Особую роль технологии АП играют в совершенствовании литейного производства (изготовление выплавляемых моделей, безмодельное изготовление литейных форм, вакуумное формования и вакуумное литье по формам и моделям, полученным аддитивными технологиями). Последние достижения в области порошковой металлургии позволили существенно расширить возможности АП по непосредственному «выращиванию» функциональных деталей из металлов, сплавов и керамик, получению изделий из функционально-градиентных и пористых материалов, разнородных материалов, материалов с уникальными свойствами получаемых непосредственно в процессе АП.

Развиваются несколько направлений АП, основанных на: световой и лазерной стереолитографии, лазерной и ножевой резке тонких листов из различных материалов, выборочном (селективном) лазерном спекании порошковых материалов, выборочном (селективном) электроннолучевом спекании порошковых материалов, электроннолучевом плавлении проволоки, послойном наложении разогретой полимерной нити, струйном напылении и др.

Особый интерес представляют технологии АП позволяющие изготавливать высококачественные изделия из металлических и керамических материалов, в частности:

-технология выборочной лазерной плавки SLM, используемая для получения изделий сложной геометрической формы с тонкими стенками и полостями, которые невозможно получить традиционными методами. Возможность комбинирования сплошных и пористых структур в одном объекте полезна при создании ортопедических имплантатов с пористой поверхностью, способствующей сращиванию с костной тканью. Качество готовых изделий настолько высоко, что механическая обработка готовых моделей почти не требуется. Побочным положительным эффектом служит экономия материалов. Как показывает практика детали, изготовленные из никелевых сплавов методом SLM, несколько уступают по прочности материала аналогам, однако, отсутствие сварочных швов благоприятно влияет на прочность изделий.

- Производство сложных изделий электронно-лучевой плавкой (EBF<sub>3</sub>). Технология EBF<sub>3</sub> нацелена на аддитивное производство комплексных моделей с пониженным по сравнению с традиционными методами расходом материалов и

практическим отсутствием необходимости механической обработки. Метод использует электронные пучки высокой мощности для последовательного наплавления материалов в форме металлической проволоки.

В некоторых случаях использование технологий АП дает возможность сократить сроки изготовления пилотных, опытных образцов, а в ряде случаев серийной продукции в десятки раз.

## **Проблемы систем смазки двигателей летательных аппаратов**

Юсупов А.А., Щиголов А.А.

Научный руководитель – Алтунин В.А.

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г. Казань

В докладе рассмотрены проблемы систем смазки поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС), воздушно-реактивных и газотурбинных двигателей (ВРД, ГТД) летательных аппаратов (ЛА). Проблемы, возникающие в системах смазки различных двигателей тесно связаны с особенностями тепловых процессов в смазочных маслах. Один из главных негативных процессов – это процесс осадкообразования в масляных каналах, форсунках и фильтрах.

В поршневых ДВС, кроме смазки, одной из главных функций моторного масла является отвод тепла от нагреваемых деталей, что составляет (1,5-4,5)% от общего тепла, выделяемых такими двигателями. Эта величина зависит от большого числа факторов: от конструкции двигателя, от степени форсированности, и, в первую очередь, от наличия принудительного охлаждения поршней маслом, от режима работы, количества прокачиваемого масла, его температуры и т.д. Почти 50% тепла масло получает за счёт соприкосновения с горячими деталями двигателя (поршень, кольца, гильзы), остальное – в результате трения в подшипниках двигателя и трения поршней в цилиндрах. Масляные каналы играют большую роль в работе поршневых ДВС. Они бывают наружные (в виде металлических трубок) и внутренние (в стенках корпусов ДВС, в поршнях, в шатунах, в коленвалах и др.), маслоподводящие и маслоотводящие. Масляные форсунки для охлаждения поршней ДВС могут иметь внутренний канал маслоподвода или наружный (индивидуальный). Практически все каналы имеют цилиндрическую форму и гладкую внутреннюю поверхность с диаметрами (1-10 и более) мм. Высокая температура внутренних деталей поршневых ДВС является главным источником нагарообразования, лакообразования и осадкообразования. При частичном закоксовывании только одного маслоподводящего (маслоотводящего) канала будут возникать большие проблемы со смазкой деталей, что неизбежно приведёт к ускоренному выходу из строя всего двигателя. Полное закоксовывание хотя бы одного маслоподводящего (маслоотводящего) канала – выведет из строя ДВС уже через несколько минут работы. К таким же результатам приведёт частичное и полное закоксовывание масляной форсунки смазки и охлаждения поршня. Из опыта эксплуатации поршневых ДВС известно, что масляная форсунка смазки и охлаждения поршня полностью закоксовывается уже через 800 часов (циклов) работы.

В ВРД, ГТД основными агрегатами и узлами трения, для которых требуется смазка, являются шариковые и роликовые подшипники турбокомпрессорного агрегата, шестерни редуктора отбора мощности, шлицевые муфты валов, шестерни редукторов. Смазочное масло уменьшает трение и износ деталей и агрегатов, отводит от них тепло, предотвращает появление коррозии и задиров, удаляет попадающие между трущимися деталями твёрдые включения и частицы. В некоторых двигателях масло служит рабочей жидкостью для систем автоматике и регулирования. Наиболее ответственные и нагруженные подшипники имеют принудительную систему смазки под давлением, осуществляемую с помощью центробежных или струйных форсунок. Процесс осадкообразования в системах смазки различных ВРД, ГТД также является очень опасным. Частичное закоксовывание масляной форсунки приводит к недостаточной и нерасчётной смазке и охлаждению подшипников и трущихся деталей, к пригоранию шариков и роликов подшипника, к быстрому выходу из строя всего двигателя. Полное закоксовывание масляной форсунки (примерно через 800 часов работы) приводит к ускоренной поломке ВРД, ГТД. Поэтому необходимо разрабатывать способы борьбы с осадкообразованием в системах смазки поршневых ДВС, ВРД, ГТД и других энергоустановках ЛА.

## **СЕКЦИЯ № 52. Проектирование и конструкция ракетных двигателей и энергетических установок**

Руководитель секции: д.т.н., профессор Тимушев С.Ф.

---

### **Схемные решения безгенераторных ЖРД, работающих на криогенных компонентах топлива**

Беляков В.А., Василевский Д.О.

Научный руководитель – Воробьев А.Г.

МАИ, г. Москва

Безгенераторные схемы используются в качестве маршевых двигателей РБ и 3-х ступеней ракет. Среди разработчиков следует выделить КБХА (РН Ангара А5 ЖРД 0146), AerojetRocketDyne (SpaceShuttleRS25 (SSME)), Pratt&Whitney (РН AtlasCentaur-SaturnRL10) и т.д. Существуют три типа безгенераторных схем: открытая, закрытая и смешанная. Из них вытекает ряд схем с разными особенностями подачи компонентов. Безгенераторные схемы особенно эффективны при применении криогенных компонентов топлива (кислород, водород, метан и т.д.).

Такие двигатели на сегодняшний день являются перспективными и обладают рядом достоинств:

- высокая экономичность, обусловленная использованием предкамерных турбин и отсутствием потерь на завесное охлаждение благодаря использованию только регенеративного охлаждения. В чистом виде – это схема с дожиганием тела турбин в камере сгорания;
- повышенная надежность, обусловленная отсутствием ГГ, использованием в качестве рабочего тела турбин газообразного горючего и низкой температурой рабочего тела турбины.

Недостатками безгенераторной схемы ЖРД являются:

- низкий уровень предельных давлений в камере сгорания, особенно для двигателей больших тяг;
- применяемость только для криогенного горючего.

Таким образом, безгенераторный ЖРД позволяет повысить надежность и обеспечить высокую экономичность.

В работе рассматриваются безгенераторные схемы, а именно:

- стандартная закрытая безгенераторная схема, с нагревом горючего в тракте охлаждения и последующим использованием его в качестве рабочего тела для привода насосов О и Г;
- закрытая безгенераторная схема с дополнительным подводом Г через отдельный насос в смесительную головку;
- закрытая безгенераторная схема с подогревом обоих компонентов в рубашке охлаждения с отдельными контурами питания турбин по линиям О и Г и дополнительным подводом О через отдельный насос в смесительную головку КС;
- закрытая безгенераторная схема с подогревом обоих компонентов в рубашке охлаждения с отдельными контурами питания турбин по линиям О и

Г и дополнительными подводами О и Г через отдельные насос в смесительную головку КС;

- открытая безгенераторная схема, с нагревом горючего в тракте охлаждения, последующим использованием его в качестве рабочего тела для привода насосов О и Г и сбросом отработавших газов в закритическую часть сопла;

- стандартная закрытая безгенераторная схема с дополнительным подогревом рабочего тела в теплообменнике от ПС газогенератора и сбросом отработавших газогенераторных газов в закритическую часть сопла.

Рассмотрены достоинства и недостатки приведенных схем. Разработана программа по увязке энергетических параметров ЖРД безгенераторной схемы, которая будет использоваться для технического анализа эффективности использования предложенных схем.

### **Создание системы отвода тепла для космических энергоустановок большой мощности с применением монодисперсных технологий**

Бурова М.Г.

Научный руководитель – Григорьев А.Л.

ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», г. Москва

Создание системы отвода тепла с приемлемыми массовыми и энергетическими характеристиками является наиболее труднореализуемой задачей для космических аппаратов с энергоустановкой высокой мощности. Для создания таких систем требуется системный подход и новые научно-технические, технологические и проектно - конструкторские решения. Применение, существующего на сегодня, панельного холодильника-излучателя серьезно увеличит массу конструкции энергоустановки. В качестве альтернативы панельному холодильнику-излучателю предложен капельный холодильник-излучатель, который представляет собой бескаркасное космическое теплообменное устройство. Отвод тепла производится в космическое пространство от капельного потока. Такой тип излучателя является более надежным и превосходит панельный холодильник по массовым характеристикам.

Основными элементами капельного холодильника – излучателя являются: генератор капель, заборное устройство, емкость для хранения рабочего тела и компенсационная емкость. Подвод и отвод теплоносителя осуществляется по трубопроводам.

В ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» был разработан стенд, предназначенный для наземной отработки элементов конструкции капельного холодильника-излучателя. Полученные данные использовались для подготовки к космическому эксперименту.

Космический эксперимент проводился на борту МКС, научная аппаратура капельного холодильника-излучателя «Капля – 2 » располагалась в модуле «МИМ1». Целью космического эксперимента было исследование гидродинамики капельного потока в условиях микрогравитации и глубокого вакуума. Задачами космического эксперимента были: отработка конструкции

капельного холодильника-излучателя, получение монодисперсного капельного потока, определение скорости пролета капель.

Космический эксперимент включал в себя три этапа. Статический нагрев отдельных частей научной аппаратуры, динамический нагрев рабочего тела и режим генерации капель, продолжительность генерации составила 49 секунд.

В ходе космического эксперимента были получены данные о характеристиках рабочего процесса капельного холодильника-излучателя в натуральных условиях микрогравитации и глубокого вакуума. Во время эксперимента производилась видеофиксация, по полученной информации можно судить о выполнении всех задач, которые были поставлены перед экспериментом. Стоит отметить, что вследствие отражения части капель от заборника замыкание контура не являлось полным.

Полученные результаты будут использованы для подготовки второго этапа космического эксперимента. Научная аппаратура будет установлена на наружной поверхности станции МКС.

### **Тепловое состояние камеры сгорания двухкомпонентных ЖРДМТ, работающих при повышенных давлениях**

Воробьева С.С.

Научный руководитель – Козлов А.А.

МАИ, г. Москва

Одной из основных задач, стоящих перед разработчиком космического аппарата является создание двигательной установки для управления его движением с высокоэкономичными и надежными жидкостными ракетными двигателями малых тяг (ЖРДМТ).

Питание ЖРДМТ топливом осуществляется преимущественно вытеснительной системой подачи (ВСП). Однако применение ВСП ограничено областью низких давлений подачи и небольших запасов топлива вследствие возрастания сухой массы бака с повышением давления и сухой массы аккумулятора с увеличением объема. Одним из возможных путей улучшения массово-энергетических характеристик ЖРДМТ и всей ДУ является повышение давления в КС за счет чего наблюдается снижение массы и габаритов, увеличение удельного импульса, появляется возможность увеличения степени расширения сопла ЖРДМТ. Повышать давление в КС возможно путем повышения давления в самой вытеснительной системе или применяя пневмопоршневой насосный агрегат.

Для предварительного анализа теплового состояния КС в период разработки двигателя или в период испытаний разработана математическая модель теплового состояния камеры сгорания ЖРДМТ.

В математическую модель входят следующие базовые модули:

- модуль расчета основных параметров ЖРДМТ;
- модуль построения внутреннего и внешнего профиля стенки КС;
- модуль расчета термодинамических и теплофизических свойств продуктов сгорания;
- модуль расчета массы конструкции ЖРДМТ;

- модуль расчета внутренних и внешних тепловых потоков, действующих на КС;
- модуль расчета параметров динамического пограничного слоя;
- модуль расчета испарения и перемешивания завесных поясов;
- модуль расчета стационарного теплового состояния КС ЖРДМТ;
- модуль расчета нестационарного теплового состояния КС ЖРДМТ для импульсных режимов работы.

В качестве объектов исследования рассматривались двигатели:

- ДМТ-МАИ-200 на компонентах АТ+НДМГ тягой 200Н с КС из сплава 12Х18Н10Т и давлением в КС 0,1 МПа;
- С5-146.00-0 КБ Химмаш на компонентах АТ+НДМГ тягой 200 Н с КС из ниобиевого сплава с дисилицидным покрытием молибдена;
- AMBR на компонентах АТ + гидразин тягой 889 Н с КС из рениевого сплава с иридиевым покрытием с давлением в КС 1,89 МПа.

Результаты расчетов теплового состояния удовлетворительно совпадают с результатами экспериментов. На примере выбранных двигателей показано преимущество применения повышенного давления для ЖРДМТ в среднем до уровня 2 МПа. Увеличение удельного импульса связано с несколькими причинами: незначительное увеличение теоретического термодинамического импульса; увеличение скорости реакции уменьшает потери от рекомбинации в процессе расширения; уменьшение потерь на трение в пограничном слое из-за уменьшения площади поверхности КС; улучшение качества распыливания и увеличение скорости испарения из-за увеличившегося теплового эффекта; уменьшение расхода на завесу в виду уменьшенной длины КС.

Показано преимущество в массовых характеристиках как двигателей, так и системы подачи компонентов при работе ЖРДМТ на давлениях в КС до 2 МПа.

### **Определение характеристик силовой установки с промежуточной диафрагмой**

Евланов А.А.

Научный руководитель – Дунаев В.А.

ТулГУ, г. Тула

Одним из вариантов газодинамических установок является установка с промежуточной диафрагмой, разделяющей две камеры. При функционировании газодинамической установки происходит перетекание высокотемпературных продуктов сгорания через промежуточную диафрагму из первой камеры во вторую и выход их во внешнюю среду со сверхзвуковой скоростью. Течение газового потока через отверстия промежуточной диафрагмы, за промежуточной диафрагмой и в предсопловом объеме происходит при наличии существенной деформации потока продуктов сгорания, при этом резко меняется направление потока. Это сопровождается потерями полного давления за счет вихреобразования и смешения потоков и должно учитываться при определении внутриваллистических и энергетических характеристик.

Целью работы является оценка характеристик газодинамической установки с учетом потерь полного давления, также оценка, необходимая для ее проектирования.

Для определения структуры течения в области промежуточной диафрагмы проводились расчеты с использованием уравнений турбулентного движения гомогенного теплопроводного газа. В качестве модели турбулентности использована полумпирическая двухпараметрическая диссипативная двухслойная модель турбулентности. Система уравнений решалась модифицированным методом крупных частиц, с использованием гибридных элементов, состоящих из нескольких треугольников (программный комплекс Gas2, разработанный в ТулГУ).

Проведенные газодинамические расчеты показали, что на участке перед диафрагмой и за диафрагмой структура течения газа является сложной и характеризуется наличием рециркуляционных зон с обратным течением газа. В работе приведено распределение газодинамических параметров в области промежуточной диафрагмы для одной из вариантов газодинамической установки.

Для определения суммарного коэффициента восстановления полного давления по тракту двигателя использовался принцип наложения потерь. Значения коэффициентов гидравлических сопротивлений на отдельных участках газового тракта определялись по известным литературным данным. Значения коэффициентов восстановления полного давления и суммарные значения этих коэффициентов находились путем решения системы уравнений с использованием газодинамических функций, значения приведенных скоростей определялись из равенства расхода на участке газового тракта решением трансцендентных уравнений. Для оценки влияния потерь полного давления проводились внутриваллистические расчеты для одного из вариантов установки. Расчеты осуществлялись по системе уравнений для осредненных параметров по объему установки.

В работе приведены зависимости давления от времени и тяги от времени для одного из вариантов топливного элемента первой камеры газодинамической установки с учетом потерь полного давления для рассмотренного примера (коэффициент потерь полного давления в начальный момент 0,85, в конце работы – 0,86) и без потерь полного давления. Как следует из результатов расчета, максимальное давление в первой камере установки с учетом потерь возрастает до 25% по сравнению с вариантом, не учитывающим потери, т.е. наличие потерь должно учитываться при проектировании газодинамических установок.

### **Экспериментальное исследование газодинамического смесительного устройства закрытого типа\***

Антоновский И.В., Заранкевич И.А.  
Научный руководители – Козлов А.А.  
МАИ, г. Москва

Предложен новый способ формирования двухфазного газочапельного потока, заключающийся в использовании предварительно создаваемой пузырьковой системы и волновой структуры, получаемой на ее основе. Минимальное значение скорости звука соответствует значению  $\alpha=0,5$ . Для водовоздушной смеси при атмосферном давлении минимальное значение скорости звука будет

$C_{зв}^{\min}=23\text{м/с}$ . Это показывает, что волновые эффекты можно использовать при достаточно низких скоростях потока.

Рассматриваемый способ с одной стороны позволяет получать двухфазный газокапельный поток высокой концентрации, а с другой – путём варьирования объемной концентрацией управлять дисперсностью капель получаемого потока. В данной части работы проводится теоретическое и экспериментальное исследование способа формирования двухфазного газокапельного потока в диапазоне концентраций, превышающих уровень пузырькового режима.

В настоящей работе рассматривается устройство-смеситель, которое использует двухфазную газодинамическую систему, но не пузырьковой структуры течения для формирования двухфазного потока. Область использования двухфазной структуры по значению объемной концентрации газа  $\alpha_r > 0,523$ , т.е. лежит вышекритического значения  $\alpha_{\text{ткр}}$ . Структура потока имеет более сложный характер, начиная от пенной, перемежаемой, разделенной до смешанной (пузырьковая + жидкостная +газокапельная) структуры. Этот вопрос требует дополнительного исследования. Поэтому будем называть такую смеситель газодинамическим.

В канал смесителя могут устанавливаться различные сопла. В частности, исследовалось сопло одним отверстием. Диаметр отверстия сопла составляет 3,5мм.

Исследовались два режима, отличающихся расходом жидкости  $G_{\text{ж}}$  и ее давлением  $P_{\text{ж}}$ , при этом определялись значения критерия массовой  $П_1$  и объемной концентрации газа  $\alpha_r$ . С помощью лазерно-оптических методов определялись поля дисперсности средних размеров капель  $d_{32}$  в сечениях, отстоящих на разных расстояниях от среза сопла. Кроме измерения дисперсности измерялись поля скоростей на выходе из смесителя и в газокапельной струе с помощью лазерной системы PIV

Выявлена важная конструктивная особенность работы смесителя. Из экспериментов видно, что давление жидкости и газа практически совпадают:  $P_{\text{ж}}= P_{\text{в}}=14.4$  атм. При использовании такого смесителя в камере сгорания двигателя можно существенно снизить давление подачи насоса до уровня давления воздуха за компрессором. Воздух, отбираемый для смесителя, далее будет использован в камере сгорания. А снижение давления на насосе позволит увеличить КПД двигателя и ресурс насоса.

\*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках базовой части госзадания.

## **Изучение динамических свойств звена ракетной двигательной установки**

Исаев Р.В., Клейменов П.И.

Научный руководитель – Чудина Ю.С.

МАИ, г. Москва

Жидкостная ракетная двигательная установка (ЖРДУ) является сложным динамическим комплексом. Составляющие ее элементы: камера сгорания, ТНА, газогенератор, система топливоподдачи и др. сами по себе являются сложными активными динамическими звеньями. Изучению динамических свойств ДУ

предшествует изучение динамических свойств ее отдельных составляющих и характера внутренних связей между ними. Любая система автоматического управления состоит из двух частей – объекта регулирования и регулятора. При оценке статических и динамических характеристик системы в целом оба эти элемента равноценны и в одинаковой степени определяют успешное выполнение задач управления. Динамические характеристики звена показывают изменение выходной величины во времени при определенном законе изменения входной. Описание динамических характеристик звена требует применения дифференциальных уравнений, а системы звеньев – системы дифференциальных уравнений. Целью изучения динамических свойств ДУ как объекта регулирования является выявление характера изменения регулируемой величины во времени при воздействии на ДУ сигналов со стороны регулятора и внешних возмущений.

Для оценки свойств динамических звеньев ДУ используют различные виды типовых воздействий. Наиболее распространенным видом входного сигнала звена является единичная ступенчатая функция (скачкообразный сигнал). К воздействиям такого типа сводится множество управляющих и возмущающих сигналов, также он одновременно является и наиболее тяжелым видом входного воздействия. Вторым распространенным видом типового входного сигнала является дельта-функция  $\delta(t)$ , представляющая собой математическую идеализацию импульса бесконечно малой длительности, имеющего площадь, равную единице. Отклики динамического звена на мгновенные типовые воздействия – единичная ступенчатая функция и дельта-функция – составляют переходную и импульсную характеристику. Для определения частотных функций динамического звена ДУ применяется входной сигнал в виде постоянного гармонического воздействия.

В работе проведено исследование динамических свойств одного из звеньев ЖРДУ с использованием программного комплекса LabView. Динамическое звено – двухкомпонентный восстановительный газогенератор (ГГ) для питания турбины рабочим телом. Газогенератор как объект исследования обладает свойствами усилительного инерционного звена.

Таким образом, оценивая динамические и статические ошибки, а также скорости протекания переходных процессов мы можем судить о свойствах звеньев ДУ и синтезировать систему автоматического регулирования (САР) выбранных параметров. Считается, что САР обладает требуемым динамическим качеством, если критерии качества лежат в заданных пределах. А выбор и назначение величин критериев качества сводится в конечном счете к определению и реализации таких ее динамических характеристик, которые при заданных ограничениях оптимальным образом удовлетворяют заданным требованиям.

## **Сравнительный анализ пульсаций давления в вариантах направляющего аппарата шнекоцентробежного насоса ЖРД с применением акустико-вихревого метода**

Клименко Д.В., Корчинский В.В.

Научный руководитель – Тимушев С.Ф.

МАИ, г. Москва

Важной задачей является повышение вибронадежности турбонасосных агрегатов подачи ЖРД. Наиболее мощным источником вибрации являются высокооборотные шнекоцентробежные насосы. В спектрах пульсаций давления, вибрации и динамической деформации корпуса шнекоцентробежного насоса доминируют тональные компоненты на частоте следования рабочих лопаток и их гармониках. Эти колебания обусловлены нестационарным гидродинамическим взаимодействием неравномерного потока, выходящего из центробежного колеса, с лопатками направляющего аппарата. Актуальной проблемой является численное моделирование нестационарного потока в насосе для анализа вариантов отводов и их оптимизаций.

Объектом исследований является основной насос окислителя ЖРД первой ступени. Для таких насосов характерны высокие значения оборотов вала (13200 об/мин) и расхода рабочего тела (1730 кг/с). Рабочее колесо исследуемого насоса включает в себя трехзаходный шнек и центробежное колесо, имеющее дополнительные укороченные лопатки (семь основных и семь укороченных лопаток).

В работе объясняется механизм снижения пульсаций давления и вибрации корпуса насоса при применении трубчатого направляющего аппарата. Показано что, применение трубчатых направляющих аппаратов позволяет сгладить импульс давления при прохождении рабочей лопатки, снизить амплитуду пульсаций давления и вибрации, а также существенно повысить динамическую прочность конструкции.

Разработана методика расчёта пульсаций давления в шнекоцентробежном насосе ЖРД с применением метода «скользящих сеток» и акустико-вихревого метода расширенного для трёхмерного течения.

Проведён анализ трёхмерного нестационарного течения в шнекоцентробежном насосе ЖРД с применением акустико-вихревого метода. Расчётным путём получено распределение амплитуд дискретных компонент спектра пульсаций давления по длине проточной части отвода шнекоцентробежного насоса.

Приведены результаты расчетов и сравнительного анализа классического направляющего аппарата с трубчатым направляющим аппаратом.

Проведено сравнение значений амплитуд на выходе из спирального сборника, полученных расчётным путём, с экспериментальными данными.

## Оптимизация параметров горения в рабочем тракте двигателя в зависимости отгеометрических характеристик

Конюхов Д.А.

Научный руководитель – Молчанов А.С.

МАИ, г. Москва

В последние годы активизировались исследования по созданию гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЛА) с гиперзвуковым прямоточным воздушно-реактивным двигателем (ГПВРД), рассчитанных на полет со скоростями, соответствующими числам Маха  $M_p = 6-12$  на высотах  $H=40-60$  Км (национальные и международные программы, которые реализуются в России, США, Европе, Японии, Австралии). Мотивом к разработке ГЛА служит потребность в более экономичном и легкодоступном выведении грузов на орбиту (воздушно-космический самолет) и создание коммерческого самолета для полетов с гиперзвуковыми скоростями в пределах верхних слоев атмосферы. В дальнейшем пришло понимание, что разработка практически применимого ГПВРД является более сложной задачей, чем представлялось первоначально. Стало ясно, что рабочий процесс в двигателе на стыке сверх-и дозвуковых скоростей трудноуправляем и может происходить с многократным изменением режима горения; на тепловыделение сильно влияют возникающие области дозвукового течения.

В данной работе решались следующие задачи: создание математической модели процессов, происходящих в камере сгорания ГПВРД с целью оптимизации параметров горения и теплообмена; проведение численных расчетов в зависимости от угла раскрытия и длины основной части КС; исследование влияния химических реакций на горение в рабочем тракте ГПВРД.

На основе численного анализа можно сделать следующие выводы.

- Сопоставлением результатов расчетов с экспериментальными данными показывает, что математическая модель достаточно достоверно описывает физико-химические процессы, протекающие в рабочем тракте ГПВРД.
- Проанализировано влияние угла раскрытия сопла и длины основной части КС на процессы, протекающие в рабочем тракте. Сделан вывод: увеличение угла раскрытия до значения 27 градусов ведет к увеличению тягового импульса, после 27 градусов происходит частичный отрыв потока; увеличение длины основной части КС так же ведет к увеличению тягового импульса.
- Исследование влияния выбора модели химических реакций и сопоставление результатов показало, что для расчета горения в рабочем тракте ГПВРД допустимо использование равновесной химической кинетики.

## **Расчет параметров рабочего процесса двигателя в газодинамической постановке**

Кузнецов А.И., Куприк Д.А.

Научный руководитель – Арсентьева М.В.

ТулГУ, г. Тула

При определении параметров рабочего процесса в камере двигателя используют следующие модели: термодинамические (нульмерные), не учитывающие движение газа; газодинамические, в которых учитывается движение продуктов сгорания по объему камеры и сопла, и термогазодинамические.

Так как в двигательных установках с большим удлинением и с высокой объемной плотностью заряжения параметры газового потока могут существенно изменяться по длине камеры сгорания целесообразно для учёта данных особенностей при расчете использовать газодинамические модели. Если канал заряда имеет простую пространственную конфигурацию, а застойные области отсутствуют или достаточно малы, может быть применена одномерная модель течения газа.

При рассмотрении поставленной задачи используется ряд допущений, среди которых можно выделить следующие: рассматривается только основной (квазистационарный) период работы двигателя, параметры состояния газа принимаются одинаковыми по поперечному сечению канала, но переменными по длине, течение в каждый момент времени является установившимся, нестационарными эффектами пренебрегаем, поток является дозвуковым, продукты сгорания топлива – идеальный газ, подчиняющийся уравнению состояния, изменение отношения теплоёмкостей с изменением температуры не учитывается. Система уравнений, описывающая течение продуктов сгорания включает в себя: уравнение неразрывности, уравнение сохранения количества движения, уравнение сохранения энергии, уравнение состояния.

В газодинамическую модель вводится ряд дополнительных уравнений: зависимость для расчета скорости горения; выражение для определения площади поверхности горения и площади поперечного сечения канала. Принимаем, что в начале процесса, площадь поверхности горения соответствует начальной, расчётное время равно нулю, начальные параметры газа определяются на основании исходных данных и площади поверхности горения. Граничные условия для задачи течения продуктов сгорания в камере двигателя имеют следующую особенность: два условия задаются во входном сечении канала, третье – в выходном.

Так как большинство численных методов направлены на решение задачи Коши с начальными условиями, заданными в одной точке, для упрощения численного решения системы уравнений принято использовать итерационные методы. Одним из таких методов является метод последовательных проб. Согласно этому методу, выбирается некоторое произвольное (ожидаемое) значение давления во входном сечении канала, например, определенное из уравнения Бори. Далее из начальных условий находятся величины скорости и плотности потока. Подобный подход позволяет свести интегрирование системы уравнений к решению задачи Коши. Однако при произвольном выборе давления

не будет выполняться граничное условие в выходном сечении канала, например, условие равенства расходов газа в выходном сечении канала и в критическом сечении сопла. Возникшая разность между истинным значением расхода в критическом сечении и рассчитанным в выходном сечении заряда устраняется за несколько шагов корректировкой первоначально выбранного давления.

Описанный алгоритм реализуется в виде программы расчета распределения параметров потока продуктов сгорания по каналу заряда.

## **Течение продуктов сгорания в силовой установке с газоводом**

Куприк Д.А.

Научный руководитель – Евланова О.А.

ТулГУ, г. Тула

Практическое применение получила схема двухрежимной двухкамерной силовой установки, включающая газовод, через который обеспечивается истечение продуктов сгорания на маршевом режиме работы установки.

Движение продуктов сгорания в установке с газоводом является достаточно сложным и сопровождается образованием рециркуляционных зон, при наличии которых теплообмен между продуктами сгорания и корпусом установки резко интенсифицируется. Значение коэффициента конвективной теплоотдачи достигает своего максимального значения в точке присоединения потока и может увеличиваться в 3-4 раза по сравнению со стабилизированным течением. Поэтому для исключения образования зон локального прогрева при проектировании силовой установки необходимо провести оценку наличия областей существования рециркуляционных зон для увеличения в этих областях в элементах конструкции толщины теплозащитного покрытия, либо для принятия мер по уменьшению размеров рециркуляционных зон.

Для изучения особенностей движения продуктов сгорания в области заднего днища установки и в газоводе и для анализа газодинамических параметров в этих областях была использована система уравнений движения продуктов сгорания.

Исследование картины течения газовых потоков в указанных областях и расчеты газодинамических параметров проводились при помощи программного комплекса GAS 2 для двух вариантов: варианта, учитывающего наличие угла стыка между задним днищем камеры сгорания и газоводом и варианта с измененной конструкцией (скруглением) для обеспечения плавного течения газа.

В работе представлены векторные картины течения газового потока, а также поля распределения давления и температуры продуктов сгорания для двух вариантов расчета.

Из анализа расчетов для первого варианта следует, что на стыке заднего днища и газовода происходит срыв потока, что приводит к образованию рециркуляционной зоны на входе в газовод. Это вызывает необходимость для исключения превышения температуры стенки газовода заданных величин принятия дополнительных мер тепловой защиты (увеличения толщины теплозащитного покрытия на данном участке) либо увеличения толщины стенки газовода. Оба эти варианта не являются рациональными, так как приводят к повышению стоимости изготовления установки и увеличению ее

пассивной массы. Рациональным путем доработки конструкции установки является применение конструктивных мероприятий, обеспечивающих уменьшение размеров рециркуляционной зоны либо исключение условия ее образования.

С этой целью был рассмотрен второй вариант конструкции с плавным скруглением на входе в газовод и проведены соответствующие газодинамические расчеты, из которых видно, что в результате профилирования стыка происходит плавное истечение потока из камеры сгорания в газовод, в результате чего в нем не происходит образование рециркуляционных зон с локальной интенсификацией теплообмена, что позволяет исключить необходимость местного увеличения толщины теплозащитного покрытия или увеличения толщины стенки газовода, т.е. конструкция становится оптимальной.

Таким образом, проведенные исследования позволили обосновать рациональную конфигурацию входного участка газовода в двухкамерной двухрежимной установке.

### **Создание автоматизированной системы сбора данных для проведения стендовых испытаний шнекоцентробежных насосов**

Медведева Е.В.

Научный руководитель – Равикович Ю.А.

МАИ, г. Москва

По мере развития уровня техники роль испытаний неуклонно возрастает. Испытания гидрооборудования, как и других механических устройств, это важнейший метод определения технических возможностей, результатов проектно-конструкторских и технологических решений, результатов эксплуатации и решения других задач, стоящих на пути совершенствования техники.

В работе рассматривается вопрос создания автоматической системы для проведения стендовых испытаний насосов. Для создания автоматической системы сбора данных был использован язык графического программирования LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), разработанный фирмой National Instruments (США).

Для реализации автоматизированной системы была выбрана схема установки замкнутого типа для проведения автономных испытаний. Испытания проводятся на модельном компоненте – холодной воде.

При испытаниях с помощью датчиков с цифровыми и аналоговыми сигналами вывода регистрируются следующие параметры: давления, температуры, расход, частота вращения вала электродвигателя, мощность электродвигателя, уровень жидкости в баке.

Для управления параметрами рабочей среды на определенном участке технологической системы или трубопровода применяются регуляторы расхода, давления и клапаны с электрическим приводом.

Датчики со стенда с цифровыми и аналоговыми сигналами вывода подключаются к оборудованию сбора данных. В данном случае при проведении испытаний съем параметров работы установки производится с помощью

оборудования компании National Instruments – системы сбора данных «NI compact DAQ-MX», которая оборудована 8-слотовым шасси NIcDAQ-9172 и позволяет применять модули ввода/вывода серии С, и работающее от постоянного напряжения 11-30 В.

В процессе проведения испытаний физическое явление с помощью датчиков преобразуется в сигнал, и система сбора данных передает информацию об измерениях на персональный компьютер. А модули вывода генерируют и передают сигналы электроприводам клапанов и регулирующим органам.

Так же в среде графического программирования LabVIEW была создана программная оболочка, позволяющая проводить испытания. На лицевой панели находится схема испытательного стенда, на которой показано расположение агрегатов, датчиков и клапанов в ней. В окне справа располагаются несколько функциональных вкладок, благодаря которым производится управление и мониторинг экспериментом. Во время проведения испытаний в автоматическом режиме происходит сохранение данных в текстовый файл.

В данной работе была представлена разработанная программа автоматизированной системы сбора данных для проведения стендовых испытаний шнекоцентробежных насосов. В графической среде программирования LabVIEW был разработан виртуальный прибор, который обеспечивает съем и запись параметров, а также управление испытательной установкой. Полученные данные могут быть использованы для дальнейшего анализа в программных комплексах, таких как Microsoft Excel, DIAdem. Гибкость платформы «NI compact DAQ-MX» позволяет осуществлять ее достаточно простую и быструю адаптацию к любым аналогичным испытаниям.

## **О проблемах создания детонационного ракетного двигателя**

Морозов Е.А.

Научный руководитель – Козлов А.А.

МАИ, г. Москва

Теоретическое изучение детонационного горения началось с работы Я. Б. Зельдовича 1940 г., в которой рассматривалось потенциальное преимущество детонационного горения над дефлаграционным при одинаковых начальных условиях, за счет меньшей энтропии продуктов детонационного сгорания по сравнению с энтропией продуктов дефлаграционного. Соответственно детонационное горение на данный момент изучается уже более 70 лет, к сожалению, за такой длительный срок до сих пор не разработан полноценно работающий прототип детонационного двигателя, это касается и пульсационного детонационного двигателя, предназначенного для авиационного применения, и «спинового» детонационного двигателя, предназначенного для ракетного применения. Следует отметить, что за последние 10-20 лет существенно увеличилось количество исследований, касающихся детонационного горения, как российских, так и зарубежных, это стало следствием достижения некоторого максимума применяющихся технологий в «стандартных» дефлаграционных двигателях. Применение детонационного двигателя по предварительным оценкам позволит увеличить тяговооруженность двигателя, упростить конструкцию двигателя, уменьшить массу двигателя,

повысить экономичность сжигания топлива (за счет большей термодинамической эффективности).

Анализ опубликованных работ показывает, что на данный момент в большом количестве исследовательских работ отсутствует универсальная полноценная модель детонационного горения, коррелирующая с имеющимися экспериментальными данными. Другими словами отсутствует понимание основных механизмов детонационного горения, от возникновения и поддержания, до вырождения детонации в дефлаграцию. Имеются домыслы о механизмах возникновения детонационной волны, о способах ее поддержания продолжительное время (на данный момент Институтом гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН достигнуто время работы детонационного двигателя в 2 секунды). Более того имеется ряд ограничений, связанных с технологическими, материаловедческими и проблемами телеметрии. Имеющиеся сейчас возможности в данных отраслях в большинстве своем не способны удовлетворить и выдержать повышенные условия работы детонационного горения, следовательно, это требует дополнительных исследований и разработок в данных отраслях.

Исследователи детонационного горения занимаются изучением условий и механизмов инициирования детонации, возможностей и условий перехода из дефлаграционного режима горения в детонационное, как путем применения специальных химических добавок, так и путем использования различных геометрических способов, разрабатывают и дорабатывают модели детонационного горения, пробуют и сравнивают различные геометрии камер, способы инициирования детонации, комбинации распределения компонентов реагирующих веществ. Предполагается в ближайшем будущем использовать экспериментальные разработки АО НПО «Энергомаш» и МАИ для создания математической модели спиновое детонационного горения.

### **Настройка маршевого двигателя РД181 для обеспечения высокой точности по тяги и соотношению компонентов топлива**

Пушкарев Д.С., Семина Е.Н., Семина О.С.

Научный руководитель – Семенов В.И.

АО «НПО Энергомаш», г. Химки

Изменение тяги ЖРД в широком диапазоне существенно расширяет эксплуатационные возможности двигателей, снижая необходимый запас топлива для решения задач космического полета. Особенно актуально регулирование двигателей в широком диапазоне для маршевых двигателей, обеспечивающих основной вклад в энергетику выведения полезного груза.

Двигатель РД181, разработанный АО «НПО Энергомаш» для американской ракеты-носителя «Антарес» в 2015 году успешно прошел сертификационные испытания и имеет диапазон регулирования по тяге от 105% до 50%.

Закон изменения положения регулирующих органов двигателя РД181 не является линейным. Для управления таким двигателем необходимо изменять не только положение регулятора расхода, а еще и положение дросселя для поддержания заданного соотношения компонентов топлива.

Для этого системе управления следует задать некоторые зависимости, способные точно воспроизвести необходимые положения регулирующих органов в зависимости от заданных уровней режима тяги ( $R$ ) и соотношения компонентов топлива ( $K_m$ ).

Как показали многочисленные испытания прототипа данного двигателя, каждый экземпляр двигателя имеет собственные зависимости  $R$  и  $K_m$  от положения регулирующих органов, отличающиеся от зависимостей для среднестатистического двигателя.

Указанные зависимости рассчитываются по данным контрольно-технологического испытания (КТИ) и являются индивидуальными для каждого экземпляра двигателя.

При проведении КТИ двигателя РД181 алгоритмом регулирования предусмотрено три стационарных режима с последовательными переключками регулирующих органов по тяге на  $\pm 5\%$  и по соотношению компонентов топлива на  $+4\%$ ,  $+7\%$ ,  $-4\%$  и  $-7\%$  от номинального значения, с последующей точной поднастройкой на заданный режим по тяге при номинальном соотношении компонентов.

Изменение режимов двигателя по  $R$  и  $K_m$  в процессе КТИ осуществляется по командам на приводы регулятора расхода и дросселя горючего, подаваемым стендовой системой управления, в соответствии с требованиями алгоритма регулирования.

Для определения зависимостей кодов приводов от уровня режима для номинальных внешних условий при номинальном  $K_m$  проводится ряд расчетных операций – приведение выходных параметров  $R$  и  $K_m$  к номинальным внешним факторам и корректировка положений приводов на величины отличий реализованных значений  $R$  и  $K_m$  от номинальных.

При штатной эксплуатации коды команд на регулирующие органы рассчитываются по зависимостям на основе квадратичных полиномов для относительной величины тяги при номинальном  $K_m$  и частным производным положения дросселя по отношению к  $K_m$  и  $K_m$  в квадрате.

Результаты сертификационных испытаний двигателя РД181 подтвердили возможность обеспечения высокой точности режимов по тяги и соотношению компонентов топлива.

## **Энергетическая установка на постоянных магнитах**

Сидоренко Н.С.

Научный руководитель – Семенов В.В.

МАИ, г. Москва

Данная работа посвящена разработке энергетической установки на постоянных магнитах – магнитотепловому двигателю (МТД). Магнитотепловой двигатель – это двигатель, предназначенный для преобразования энергии постоянных магнитов в механическую или электрическую энергию.

Одним из основных узлов МТД является магнитная система, состоящая из постоянных магнитов, расположенных напротив друг друга с образованием межполюсного зазора. В межполюсном зазоре расположен роторный диск, установленный на валу на подшипниках с возможностью вращения, а по

периферии по всему периметру диска установлены узкие тонкие пластины (активные рабочие элементы) из гадолиния (Gd). Гадолиний редкоземельный мягкий вязкий металл серебристо-белого цвета обладает резко выраженной зависимостью намагниченности от температуры – при нагреве до определенной температуры, теряет свои магнитные свойства, совершая магнитный фазовый переход из ферромагнитного состояния в парамагнитное, а при охлаждении – восстанавливает свои первоначальные свойства. Температура, при которой происходит фазовый переход, является температурой или точкой Кюри, для гадолиния эта температура лежит в пределах 20...23°C. Данный фазовый переход является обратимым, что позволяет циклично размагничивать и намагничивать ферромагнетик, соответственно нагревая и охлаждая его. На основе данного перехода может быть организован рабочий цикл, что и было осуществлено в магнитотепловом двигателе. Так, при нагреве гадолиниевых пластин, расположенных в межполюсном зазоре в центре магнитной системы, они совершают магнитный фазовый переход, размагничиваются и на них перестает воздействовать магнитное поле. Но магнитное поле воздействует на соседние, рядом стоящие пластины, еще не подвергнутые нагреву, притягивая их к себе, и выталкивая при этом размагниченные пластины из магнитной системы. В результате этого роторный диск с рабочими элементами, установленный на валу, вращается. После выхода из магнитной системы, и вне зоны действия магнитного поля размагниченные гадолиниевые пластины охлаждаются, в результате чего они восстанавливают свои магнитные свойства и цикл повторяется.

Магнитотепловой двигатель в зависимости от требуемой мощности и применения, может быть выполнен с различными конструктивными особенностями, например, иметь несколько магнитных систем на одном диске и несколько дисков на одном валу, что конечно же будет увеличивать его мощность, а следовательно, и коэффициент полезного действия.

Магнитотепловой двигатель может найти практическое применение в качестве силового агрегата в авиации и космонавтике, напр., в системе вспомогательного и автономного энергообеспечения бортового оборудования, спутниковых систем и космических станций.

## **Критические режимы сверхзвукового обтекания ромбического рельефа**

Сидху Д.С.С.

Научный руководитель – Семенов В.В.

МАИ, г. Москва

В рамках линейной теории точно решили стационарную краевую задачу трехмерного обтекания однородным потоком бесконечной пластины, у которой ромбический рельеф ее обтекаемой поверхности задавали в виде суммы плоских синусоидальных волн.

Доказали, что если вектор скорости сверхзвукового однородного потока параллелен диагоналям обтекаемых ромбических рельефов указанного типа, то среди них имеется такой, у которого угол ромба равен так называемому критическому значению, зависящему от числа Маха натекающего потока. Поле

обтекания ромбического рельефа с критическим значением его угла ромба нельзя определить в рамках линейной теории из-за деления на ноль. В рамках линейной теории такую ситуацию называют кризисом сверхзвукового обтекания.

При дозвуковом обтекании ромбических рельефов вышеуказанного типа критические значения углов ромба отсутствуют.

Критические значения углов ромба, полученные в данной работе с помощью линейной теории, сравнили с экспериментальными данными работы [1]. В ней представлены данные прямых измерений волновых сопротивлений цилиндрических насадок, имевших ромбические рельефы, у которых в серии испытаний варьировали угол ромба и фиксировали нулевой угол их обтекания. На дискретно-точечной зависимости волновых сопротивлений насадок от их углов ромба, приведенной в работе [1] на рис. 5, имеются максимумы, наличие которых автор связал с критическими режимами сверхзвукового обтекания.

Первый максимум на рис. 5 в работе [1] имеет место при числе Маха равном 2,5 и угле ромба  $26^\circ$ , а согласно линейной теории, развиваемой в данной работе, при указанном числе Маха критическое значение угла ромба должно быть равным  $23,6^\circ$ .

Такое отличие теоретических и экспериментальных критических значений угла ромба, а также наличие в работе [1] второго максимума на рис. 5 и его отсутствие в линейной теории объясняются тем, что теоретически изученные и экспериментально испытанные рельефные поверхности качественно отличались. Действительно, в данной работе изучали бесконечные пластины с гладкими ромбическими рельефами, а в работе [1] испытывали цилиндрические насадки, которые имели конечные размеры и ступенчатые ромбические рельефы.

В данной работе также объяснено, почему перечисленные выше отличия теоретически изученных и экспериментально испытанных рельефных поверхностей сравнительно слабо повлияли на положение первого максимума.

Все вышесказанное обосновывает актуальность детальных исследований критических режимов сверхзвукового обтекания конечных двоякопериодических рельефов.

Литература:

1. В.В. Семенов. Волновое сопротивление обтекаемых волнистых поверхностей реактивного сопла и летательного аппарата // Известия вузов «Авиационная техника», 2000, №4, с.18–22.

### **Влияние мелкости и спектра распыла капель форсункамина эффективность сгорания топлива в ЖРД МТ**

Боровик И.Н., Строкач Е.А.

Научный руководитель – Козлов С.Ф.

МАИ, г. Москва

В работе проведено численное исследование влияния распределения диаметра капель, истекающих из двухкомпонентной газожидкостной форсунки на полноту сгорания топлива в ЖРД. Компонентами топлива были выбраны керосин и газообразный кислород. Моделирование проведено для семи различных средних диаметров капель по Заутеру, а моделирование для каждого

диаметра Заутера проводилось для трех различных по ширине распределений Росина-Раммлера – от близкого к монодисперсному (параметр ширины 18) до широкого (параметр ширины 1.8). Было определено, что вид распределения в значительной мере влияет на полноту сгорания. Распыливание форсункой топлива на мелкие капли не позволяет получить максимально возможной полноты сгорания для данной схемы смесеобразования. Максимальная полнота сгорания требует наличия в спектре распыла капель, как малого, так и большого диаметра. В работе делается анализ причин, приводящих к подобному результату и производится оценка утверждения, что для каждой конструкции камеры сгорания и типа системы смесеобразования существует распределение капель по диаметрам, обеспечивающее максимальную полноту сгорания.

Современные эмпирические методики расчета процессов распыливания, дробления жидкой струи и пленки, слияния капель и т.п. в основном возводят в цель определение мелкости распыливания по критерию среднего диаметра капель, который считается важнейшим параметром влияния на полноту сгорания. Считается, что средний диаметр Заутера наилучшим образом подходит для оценки качества подготовки топлива к сгоранию. Средний диаметр Заутера равен отношению суммарного объема капель к суммарной площади поверхности.

В то же время, самым распространенным в численном моделировании распыливания является использование распределения Росина-Раммлера, поэтому оно выбрано в качестве основного для изучения в данном исследовании.

Исследование проводилось на примере моделирования рабочих процессов в КС ЖРД малых тяг МАИ-ДМТ-200, разработанного на каф. 202 МАИ.

Показано, что на полноту сгорания наиболее существенно влияет вид распределения капель по диаметру, а не средний диаметр капель по Заутеру. Наличие более широкого спектра и при большем среднем диаметре Заутера дает большую полноту сгорания, чем поток капель близкий к монодисперсному с меньшим средним диаметром капель по Заутеру.

Утверждается, что для каждой геометрии камеры сгорания и форсуночной головки существует распределение капель по диаметрам, обеспечивающее наибольшую полноту сгорания. После проверки рассмотренной модели и подтверждения эффекта она может служить полезным инструментом при проектировании ЖРД и систем топливоподачи, используемых в других устройствах.

### **Сравнительный анализ использования солнечных энергодвигательных установок в задачах межорбитальной транспортировки**

Тутуров А.А.

Научные руководители – Матвеев Ю.А., Финогенов С.Л.

МАИ, г. Москва

При решении задач межорбитальной транспортировки эффективность использования ЖРД заметно уступает двигательным установкам, использующим солнечную или ядерную энергию.

Солнечная энергия, как доступная в космосе и экологически безопасная по сравнению с ядерной, может быть использована в солнечных энергодвигательных установках (СЭДУ) с высокотемпературным нагревом рабочего тела (водорода). На орбите назначения СЭДУ предназначена для энергообеспечения космического аппарата. В работе рассмотрены основные концепции СЭДУ.

Первая подразумевает прямой нагрев водорода в системе «зеркальный концентратор – приёмник солнечного излучения» (КП) для обеспечения высокого удельного импульса (750...800с), однако требует точной (10...30 угловых минут) ориентации на Солнце при периодических апсидальных включениях двигателя. В ряде схем возможно использование теплового аккумулятора (ТА) для накопления тепловой энергии за время пассивного движения по многовитковой переходной траектории выведения на высокоэнергетические орбиты, и обеспечения требуемого импульса тяги на активных участках вне зависимости от ориентации на Солнце. В некоторых задачах целесообразно дожигание нагретого водорода холодным кислородом для снижения требуемой площади солнечного концентратора и объема топливных баков. Масса полезной нагрузки при этом на 50% и более превышает возможности жидкостных разгонных блоков. Время выведения полезной нагрузки на высокие орбиты типа ГСО составляет 30...60 суток, что в 3...5 раз меньше по сравнению с использованием ЭРД.

Другая концепция, предложенная Исследовательским центром имени М.В. Келдыша, основана на использовании энергии собственных солнечных батарей (СБ) выводимой космической платформы для нагрева ТА и последующей передаче энергии водороду при апсидальных включениях с возможностью его дожигания. Эта концепция выгодно отличается условиями ориентации СБ на Солнце (10...15°) и более высокой (на 10...15%) баллистической эффективностью.

Дальнейшее повышение эффективности СЭДУ связано с возможностью увеличения удельного импульса (более 850...900с) при нагреве водорода до температур свыше 2500К, реализуемых в многоступенчатых системах КП с повышенной энергетической эффективностью. Требования к точности ориентации таких систем на Солнце заметно снижаются и вполне могут быть обеспечены современными техническими средствами. Баллистическая эффективность разгонных блоков с такими СЭДУ может быть вдвое выше по сравнению с базовыми ЖРД.

## **Расчет и проектирование жидкостного ракетного двигателя первой ступени ракеты-носителя**

Фролов А.А.

Научный руководитель – Силюянова М.В.

МАИ, г. Москва

Проектируемый жидкостный ракетный двигатель (ЖРД), предназначен для установки на первую ступень ракеты-носителя (РН), используемой для вывода на орбиту космических аппаратов различного назначения. В качестве топлива

для данного двигателя предлагается использовать экологически чистую пару компонентов: окислитель - жидкий кислород; горючее – керосин.

Выбор компонентов топлива был обусловлен следующим:

- высокая энергетика;
- стабильность при длительном хранении;
- устойчивое горение;
- хорошие охлаждающие свойства;
- малая токсичность самих компонентов и продуктов сгорания;
- надежная и удобная эксплуатация;
- низкая стоимость.

Кислород и керосин не самовоспламеняющаяся топливная пара, поэтому при запуске используется пусковое горючее ПГ-2 (смесь триэтилалюминия и триэтилбора).

Двигатель представляет собой однокамерный маршевый ЖРД с турбонасосной системой подачи компонентов топлива, выполненный по схеме с дожиганием окислительного генераторного газа, что дает возможность получить более высокое значение удельного импульса по сравнению с открытой схемой.

Основные требования, предъявляемые к двигателю:

- Работа двигателя должна осуществляться по определенной циклограмме, в которой можно различить следующие режимы: запуск с выходом на предварительную ступень с уровнем 60-70% от номинальной тяги, главная ступень, режим плавного дросселирования (до  $\approx 30\%$ ), конечная ступень  $\approx 40\%$  от номинальной тяги, отключение;
- Возможностью изменения режимов работы по тяге на режиме главной ступени и соотношению компонентов топлива;
- управление вектором тяги двигателя по каналам «тангаж» и «рысканье» осуществляется качанием только камеры. Управление по каналу «крен» осуществляется с помощью специальных сопел (не входят в состав двигателя), питаемых окислительным газом, отбираемым с выхода турбины основного ТНА;
- Высокое значение удельного импульса;
- Высокая степень надежности на всех режимах работы;
- Минимальный импульс последствий;
- Объем проверок при подготовке двигателя к пуску должен быть минимальным;
- Двигатель оснащен системами телеметрических измерений и аварийной защиты;
- Приемлемые весовая и габаритная характеристики.

Обеспечение высокого значения удельного импульса для выбранных компонентов топлива при ограниченных габаритах возможно лишь при высоком давлении в КС и отсутствии потерь удельного импульса, связанных со схемой привода ТНА. Этим обусловлено применение схемы с дожиганием в КС окислительного генераторного газа и выбор высокого уровня давления - 250 ата. Давление на срезе было выбрано равным 0,7 ата для двигателя, предназначенного для первой ступени РН.

## **Метод динамических испытаний корпусов ракетных двигателей твердого топлива на основе эффекта электрогидравлического удара**

Харитонов А.С.

Научный руководитель – Трушин Н.Н.

ТулГУ, г. Тула

Метод гидравлических испытаний давно известен и широко применяется в машиностроении. Наиболее известным методом является статическое испытание изделий на прочность. В ходе данного испытания изделия подвергаются нагрузке нормативным гидравлическим давлением и выдержке этого давления фиксированное время. Во время испытания, изделия визуально проверяют на деформации и возможные протекания специально подготовленной жидкости для испытания.

Применение этого метода имеет как достоинства, так и недостатки. Достоинствами являются: относительная простота и известные инженерные решения, которые за достаточно долгий период эксплуатации позволяют обеспечить достаточную объективность испытания. К недостаткам этого способа относятся: несоответствие регламента испытаний реальным условиям эксплуатации контролируемой продукции по сравнению с реальными условиями эксплуатации изделий машиностроения, относительно высокая степень энергозатрат испытательного оборудования, длительное время подготовки оборудования к испытанию, визуальная и субъективная оценка состояния изделия во время испытания.

Нагрузка на корпус ракетного твердотопливного двигателя (РДТТ) во время его работы неравномерно распределяется по внутренней поверхности, что ставит под вопрос достоверность испытаний, проводимых статическим методом при изменяющейся нагрузке. Недостатки существующего способа статических испытаний корпусов РДТТ обосновывают целесообразность применения иных методов и средств необходимой оценки качества производимой продукции по критериям механической прочности. Альтернативным методом служит динамическое испытание корпусов РДТТ на прочность. Динамический метод значительно достовернее описывает условия, в которых работает ракетный двигатель.

Метод динамических испытаний корпусов РДТТ можно реализовать на основе электрогидравлического эффекта (ЭГЭ), который был изучен и сформулирован Л.А. Юткиным. Особенностью ЭГЭ является преобразование электрической энергии в механическую без применения каких-либо других механических звеньев. Эффект динамического воздействия на испытуемое изделие достигается путем прохождения импульсного электрического разряда через жидкость находящуюся в открытой или закрытой емкости. Малая длительность электрического импульса, которая измеряется в микросекундах, и высокий фронт этого импульса обеспечивает резкое и значительное возрастание давления в жидкости. Выдерживая оптимальную частоту и амплитуду импульсов можно достигать требуемого оптимального давления для испытаний ракетных двигателей.

Проект компьютеризированной испытательной установки, выполненной на основе ЭГЭ, соответствует принципам автоматизации и безопасности

проведения испытаний корпусов ракетных двигателей. Она позволит сократить время испытаний, повысить достоверность оценки качества контролируемых изделий, а также управлять процессом испытаний дистанционно.

Проведение испытаний методом на основе ЭГЭ приблизит характер испытания к реальным условиям эксплуатации ракетных двигателей. Контроль над каждым этапом испытания, а также состоянием оборудования можно осуществлять с применением электронно-вычислительной аппаратуры, что делает этот способ наиболее гибким и универсальным.

### **Исследование влияния параметров иницирующего устройства на рабочий процесс газогенерирующей установки**

Хромов А.С.

Научный руководитель – Арсентьева М.В.

ТулГУ, г. Тула

Для выполнения газогенерирующей установкой (ГГУ) поставленной задачи, необходимо обеспечить определенный закон изменения расхода газа во времени. На этапе отработки ГГУ, являющейся объектом исследования, обнаружилось, что характеристики, полученные в ходе эксперимента, не соответствуют расчетным.

Для выявления причин рассогласования результатов эксперимента с теоретическими данными с помощью разработанного программного комплекса было проведено численное моделирование рабочего процесса в ГГУ. Оно проводилось в два этапа: сначала определялся закон изменения поверхности горения топливных элементов (ТЭ) во времени, а затем полученный закон импортируется в программу расчета рабочих характеристик. Данная методика позволяет учитывать такие особенности протекания рабочего процесса как: различная скорость горения ТЭ по объему, их разрушение в процессе горения, неодновременность воспламенения ТЭ по поверхности и другие.

Анализ результатов расчета показал, что наибольшие различия между экспериментальными и теоретическими характеристиками наблюдаются на начальном этапе работы, который сильно зависит от типа и особенностей функционирования применяемого иницирующего устройства. Работа автономного иницирующего устройства (АИУ), применяемого в рассматриваемой ГГУ, сопровождается следующими явлениями: наличие большого количества конденсированной фазы в продуктах сгорания, неравновесность потока продуктов сгорания, частичное перекрытие расходных отверстий, налипание конденсированных частиц на элементы конструкции.

Поэтому важным этапом исследования было моделирование рабочего процесса в АИУ, которое проводилось в термодинамической постановке, а вышеперечисленные явления учитывались с помощью коэффициента расхода.

Для получения картины взаимодействия продуктов сгорания, истекающих из АИУ, с ТЭ в основной камере ГГУ и другими элементами конструкции был проведен газодинамический расчет в осесимметричной двумерной постановке. Результаты моделирования подтвердили предположение о возможности таких явлений, как неодновременность воспламенения ТЭ по поверхности,

разрушение ТЭ под воздействием продуктов сгорания из АИУ, эрозионное горение ТЭ и др.

Рассчитанные с учетом описанных явлений характеристики рабочего процесса ГГУ имеют хорошее совпадение с результатами эксперимента, как в начальный период работы, так и на участке спада давления.

На основании результатов проведенного исследования был предложен целый ряд конструктивных решений, которые позволят снизить негативное воздействие потока продуктов сгорания из АИУ на ТЭ в основной камере и избежать аномальных режимов протекания рабочего процесса, и, в конечном счете, обеспечить заданные рабочие характеристики.

### **Модернизация системы генерации импульсов давления в полости смесительной головки с использованием электроимпульсного возмущающего устройства**

Царапкин Р.А., Нарижный А.А., Пикалов В.П.

Научный руководитель – Нарижный А.А.

ФКП «НИЦ РКП», г. Пересвет

Одной из важных особенностей работы жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) является возможность возбуждения высокочастотных колебаний давления в реакционных полостях камер сгорания, что, как известно, может закончиться разрушением этих агрегатов и, в лучшем случае, невыполнением полетного задания. Инициатором (провокатором) таких колебаний может быть система подачи жидкого компонента в камеру сгорания, точнее - ее нестабильная работа.

В этой связи склонность рабочего процесса к возникновению высокочастотных колебаний давления в камере сгорания при поступлении возмущений из системы подачи жидкого компонента можно оценить с помощью создания искусственных импульсных возмущений в жидкостной полости смесительной головки, используя специально разработанные возмущающие устройства. Традиционные возмущающие устройства (пневматического типа и использующие навески взрывчатых веществ) имели ряд недостатков, оказывающих сильное влияние как на удобство (безопасность) проведения экспериментов, так и на стабильность получаемых результатов. Итогом стала разработка принципиально нового возмущающего устройства, основанного на методике генерации импульсов давления путем взрыва металлического проводника с током. Полученные предварительные результаты показали принципиальную возможность использования такого электроимпульсного возмущающего устройства (ЭИВУ) в жидкостной полости смесительной головки для оценки стабильности рабочего процесса в камерах сгорания ЖРД.

Целью исследований, представленных в докладе, является повышение эффективности систем генерации импульсов давления и уменьшение разброса величин пульсаций давления, возбуждаемых с помощью ЭИВУ в системе подачи жидкого компонента в камеру сгорания.

В докладе представлены конструкции разработанных систем генерации импульсов давления с использованием электроимпульсных возмущающих устройств и результаты исследования в «холодных» модельных условиях

влияния конструктивных и режимных параметров на величину генерируемых импульсов давления.

Новизна темы подтверждена патентами.

## **Исследование ракетного двигателя твердого топлива многократного запуска**

Черников А.А.

Научный руководитель – Матушкин А.А.

МАИ, г. Москва

Одной из актуальных задач совершенствования РДТТ, газогенераторов, БТИМ и других ракетных систем является повышение надежности и эффективности воспламенения заряда твердого ракетного топлива (ТРТ) и выхода на рабочий режим указанных устройств в заданный, весьма малый, промежуток времени. Одним из перспективных технических решений является создание РДТТ многократного включения. Использование подобных двигателей будет способствовать увеличению дальности пуска ракет, повышению их скорости и маневренности на конечных участках полета.

Объектом исследований является ракетный двигатель твердого топлива (РДТТ) многократного (четырёхкратного) запуска. В процессе исследования была разработана новая конструктивная схема ракетного двигателя четырёхкратного запуска, способная применяться на РДТТ большого удлинения.

Запуск двигателя осуществляется при помощи одного из четырёх пиропатронов. Каждый из которых рассчитан на оставшийся объем топлива. Имеется баллон с газом при очень высоком давлении, который подключен к распределяющему устройству, распределяющее подачу газа на необходимый цилиндр с хладагентом, прикрепленный к боковой, наружной стенке корпуса. При помощи газа под высоким давлением поршень движется внутри цилиндра, вдоль стенки двигателя, выталкивая хладагент в камеру сгорания через клапан. Вследствие чего давление падает в камере сгорания, и двигатель завершает работу. Для повторного включения срабатывает следующий пиропатрон, с более мощным зарядом.

Достоинством рассматриваемой схемы по сравнению с аналогами является возможность многократного запуска зарядов торцевого горения большого удлинения. Так же несомненным преимуществом является широкий диапазон интервала останова и запуска двигателя а кроме того малое время повторного запуска, позволяющее в случае необходимости сокращать длительность пауз между последовательными включениями двигателя.

## **Применение технологий лазерного спекания и использование композитных материалов в однофорсуночном ракетном двигателе малой тяги**

Боровик И.Н., Чудина Ю.С.  
Научный руководитель – Козлов А.А.  
МАИ, г. Москва

Ракетные двигатели малых тяг (РДМТ) используются в качестве основных исполнительных органов для ориентации и стабилизации летательных аппаратов (ЛА) в космическом пространстве. Для обеспечения эффективного регулирования положением ЛАРДМТ должен отвечать требованиям высоких энергомассовых характеристик, обладать достаточным быстродействием и быть надежным. В последнее время добавляются еще такие требования как экологическая чистота и возможность снижения затрат на разработку и эксплуатацию.

Для успешного выполнения поставленных перед разработчиками задач необходимо переходить к использованию новых материалов, технологий, способов проектирования, пересмотреть традиционные подходы к разработке конструкций.

В научной лаборатории «Жидкостные ракетные двигатели малых тяг» на кафедре 202 МАИ проводятся различные исследования в области совершенствования конструкций и повышения эффективности разрабатываемых РДМТ. В качестве топлив для РДМТ используются экологически чистые пары компонентов: кислород-керосин, перекись водорода-керосин, кислород-метан.

При создании нового образца РДМТ решаются проблемы организации равномерного распределения компонентов топлива по смесительной головке, организации эффективного смесеобразования, качественного охлаждения стенок камеры сгорания в условиях малых габаритов двигателя.

Использование технологии лазерного спекания материалов (аддитивных технологий) позволяет значительно упростить задачу организации разветвленной цепи каналов для равномерного подвода компонентов в камеру сгорания. Такой метод лазерного спекания порошка нержавеющей стали был опробован, в частности, при создании однофорсуночной смесительной головки РДМТ.

При организации высокоэффективного процесса горения топлива неизбежно образование высокотемпературных зон вблизи стенок камеры сгорания. В ограниченных объемах КС РДМТ и из-за особенностей работы таких двигателей (импульсный режим с диапазонами времен работы от долей секунды до нескольких минут) этот фактор приобретает еще большее значение. Необходимо обеспечить качественное охлаждение стенок КС в отсутствии регенеративного внешнего охлаждения конструкции и условиях сравнительно малых расходов компонентов топлива для завесного охлаждения требует поиска новых путей решения, одним из которых является использование более теплостойких покрытий и материалов. В разработанном РДМТ используется КС из углерод-углеродного композитного материала с заполнением карбидом кремния. Это позволяет работать в режимах с повышенными температурами вблизи стенок

КС (до 1800°С при использовании композитного материала по сравнению с 1400°С при использовании ниобиевого сплава для стенок КС).

Разработанный РДМТ прошел цикл испытаний на огневом стенде. В ходе проведения экспериментов отрабатывались различные режимы по расходам компонентов, длительности подачи топлива, проводилась проверка воспламенения экологически чистой пары газообразных компонентов топлива кислород – метан. Используемые при создании РДМТ технологии и материалы позволили провести огневые запуски продолжительностью до 25 сек. с достигнутой максимальной наружной температурой стенки около 1600°С.

## СЕКЦИЯ № 53. Проектирование и конструкция электроракетных двигателей и энергетических установок

Руководитель секции: д.т.н., профессор Назаренко И. П.

---

### Исследование локальных параметров плазмы высокочастотного ионного двигателя малой мощности

Кожевников В.В., Черный И.А.

Научный руководитель – Хартов С.А.

МАИ, г. Москва

Сегодня при разработке новых высокочастотных ионных двигателей (ВЧИД) особенное внимание уделяется изучению процессов поглощения энергии плазмой из высокочастотного электрического поля, созданного внешним индуктором. При этом исследуется конфигурация скин-слоя – области плазмы, в которой осуществляется процесс поглощения энергии. Толщина скин-слоя  $\delta$  и концентрация электронов плазмы  $n_e$  определяют эти процессы. Толщина  $\delta$ , определяющая глубину проникновения электромагнитной волны в плазму, уменьшается при увеличении концентрации электронов плазмы  $n_e$ , при увеличении концентрации электронов плазмы  $n_e$  в скин-слое растет эффективность поглощения энергии.

Для анализа конфигурации скин-слоя было произведено исследование распределений локальных параметров в плазме двигателя многоэлектродными зондами Ленгмюра. Полученные распределения сравнивались с экспериментальными исследованиями конфигурации параметров плазмы в ВЧИД, проведенными учеными из Гисенского университета (Германия) в 1980-х годах. Данные, собранные ими, были получены для ртутной плазмы в цилиндрических ВЧИД диаметром 100 мм. Обобщенные выводы их исследований заключались в следующем:

- напряженность азимутального электрического поля  $E$  максимальна на стенке газоразрядной камеры (ГРК) и спадает до нуля на оси,
- температура электронов  $T_e$  максимальна на стенке ГРК и спадает к оси,
- плотность плазмы максимальна на оси ГРК и минимальна на стенке.

Задачей настоящего исследования являлась проверка этих выводов с использованием современных методов измерения локальных параметров плазмы. Объектом исследования была ксеноновая плазма в ГРК ВЧИД с диаметром выходного пучка 80 мм. В исследовании ГРК двигателя представляет собой полусферу из смеси окиси алюминия и нитрида кремния, с дополнительными отверстиями в стенке для ввода зонда. В работе представляется методика и результаты измерений распределений электронной температуры  $T_e$  и концентрации электронов  $n_e$  в плазме ГРК многоэлектродными зондами Ленгмюра.

Исследования проводились в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям

развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» (Соглашение № 14.577.21.0101 от 16.09.2014).

## **Анализ вариантов создания лазерной системы передачи энергии для энергоснабжения малого технологического спутника**

Коноплев А.С.

Научный руководитель – Смахтин А.П.

МАИ, г. Москва

Одним из перспективных направлений развития космической энергетики является создание энергетических систем на основе беспроводной передачи энергии с использованием сфокусированных пучков электромагнитного излучения в СВЧ и в лазерном диапазонах. Такой подход к созданию систем космической энергетики является принципиально новым в сравнении с традиционными схемами создания космических энергетических установок (КЭУ).

Одним из перспективных вариантов использования лазерной системы передачи энергии в космосе является создание на этой основе космического технологического комплекса с предельно низким уровнем остаточных микроускорений на борту технологического модуля.

Возможно создание малого технологического спутника с пассивной гравитационной стабилизацией и солнечными батареями, расположенными на боковой поверхности спутника. Малые размеры, система гравитационной стабилизации, отсутствие «крыльев» солнечных батарей, минимальный состав бортового оборудования и выбор высоты орбиты порядка 1000 км позволит получить уровень бортовых остаточных ускорений порядка  $(10^{-8}-10^{-7})g_0$ , где  $g_0$  – ускорение свободного падения на поверхности Земли. Указанный уровень бортовых остаточных ускорений в области низких частот порядка 0,1 Гц позволит осуществить на борту спутника технологический процесс кристаллизации однородных полупроводников, процесс получения ультрачистых медицинских препаратов и прочее.

Энергоснабжение малого технологического спутника должно осуществляться по лазерному лучу с борта космического энергетического модуля, находящегося на орбите, схожей с орбиты малого спутника на расстоянии от нескольких сотен метров до нескольких километров. Это расстояние будет определено с учетом возможностей современных систем стабилизации и ориентации космического энергетического модуля в космическом пространстве. Применение лазерной системы передачи энергии позволит малый спутник по размерам и массы перевести в разряд спутников с относительно высоким уровнем энергопотребления до нескольких кВт электрической энергии.

В докладе приводится анализ влияния типов и параметров различных лазеров и приемников-преобразователей энергии лазерного излучения в электрическую энергию на эффективность технологического комплекса. Современные космические технологические печи, предназначенные для кристаллизации полупроводниковых материалов, потребляют порядка 500 Вт электрической мощности. С учетом КПД приемников-преобразователей энергии лазерного излучения в электрическую энергию постоянного тока, необходимо иметь лазер

с выходной мощностью порядка 1 кВт. Полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи энергии на основе Si, GaAs, CdTe и CdS при лазерном облучении имеют КПД величиной 50% и более.

### **Пластинчатый теплообменный аппарат**

Ламтюгина А.В.

Научный руководитель – Демидов А.С.

МАИ, г. Москва

В авиационно-космической технике широко применяются теплообменные аппараты (ТА) различного типа. Они дают существенный вклад в массовые и габаритные характеристики космических ядерных энергоустановок. Разработанный компактный пластинчато-ребристый ТА предназначен для передачи тепловой энергии от жидкого лития, который проходит через реактор, жидкому калию, который находится в своём контуре ЯЭУ в двух фазах - жидкой и паровой. Основным конструкционным материалом в данном случае должен быть сплав на основе ниобия с удельным весом, превышающим удельный вес стали. Гидравлические, теплотехнические и массовые характеристики ТА являются наиболее важными. Из современных литературных источников известно, что пластинчатые теплообменные аппараты при рациональном подходе к их проектированию имеют значительные преимущества в отношении второй и третьей характеристики. Движение теплоносителя в пластинчатых аппаратах с оребрением зигзагообразного типа имеет значительное сходство с движением теплоносителя в межтрубном пространстве кожухотрубного ТА. Вместе с тем, в пластинчатом аппарате существует принципиальная и практическая возможность воздействовать на теплоноситель и задавать его движение путём создания ребристой структуры на одной и той же пластине (за счёт подштамповок во взаимно противоположные стороны). Другим способом организации такого же движения является использование вставных оребренных пластин. Такие пластины могут иметь совсем небольшие толщины, например порядка толщины фольги ( $\sim 0,15 \div 0,25$  мм), а их жёсткость обеспечивается рёбрами (подштамповками) высотой около 4 мм, что соответствует расчётному расстоянию между соседними разделительными пластинами. При этом основные (разделительные) пластины могут быть гладкими. Это способствует использованию более дешевой технологии. Разработанный ТА имеет сложную, оригинальную структуру оребрения, обеспечивающую опережающий рост теплоотдачи по сравнению с ростом гидравлических потерь. Проведены сравнительные расчёты разработанного пластинчато-ребристого и кожухотрубного ТА, при одинаковых условиях работы (теплоносителях, расходах, передаваемой тепловой нагрузке, температурах теплоносителей на выходе и входе). Показаны преимущества пластинчатого теплообменного аппарата в массовых, габаритных показателях.

## **Опыт создания аммиачных корректирующих двигательных установок электротермическими микродвигателями для малых космических аппаратов**

Вавилов И.С., Лукьянчик А.И., Ячменев П.С.

Научный руководитель – Блинов В.Н.

ОмГТУ, г. Омск

Современный этап развития космической техники характеризуется увеличением масштабов создания маневрирующих малых космических аппаратов (МКА) с корректирующими двигательными установками (КДУ) для решения задач орбитального маневрирования. Задачами орбитального маневрирования МКА являются: ликвидация ошибок выведения, поддержание орбитальных параметров в течение срока активного существования, межорбитальное маневрирование в научных и прикладных целях (например, МКА-инспекторы), построение орбитальных группировок МКА, увод МКА на орбиту утилизации и др.

Используемые для орбитального маневрирования «больших» КА электрические КДУ характеризуются большой ценой тяги (20 Вт/мН и более), что не позволяет их использовать для МКА в широком диапазоне масс. КДУ с термокаталитическими микродвигателями при низкой цене тяги обладают большой тягой (100-500 мН), что неприемлемо для большинства МКА из-за больших возмущений при работе КДУ в режиме тяги.

Опыт создания с участием ОмГТУ КДУ с электротермическими микродвигателями (ЭТМД), работающих на аммиаке, с ценой тяги до 3,3 Вт/мН при тяге ЭТМД до 30 мН показали их высокую эффективность. В настоящее время созданы и совершенствуются следующие типы ЭТМД для аммиачных КДУ: с трубчатой и автономным нагревателем, с совмещенной с испарителем схемой, совмещенной схемой с подключением внешних устройств и с внутренним дросселем. Создается КДУ для маневрирующей наноспутниковой платформы с запасами характеристической скорости до 60 м/с.

По своему конструктивному построению аммиачные КДУ с ЭТМД специализированы для создания низкоорбитальных МКА различного назначения с использованием многоцелевых методов проектирования (метод гарантированного результата и метод структурного проектирования) и габаритно-массового метода для расчетного определения массовых характеристик КДУ и средств их адаптации к МКА.

Оценка эффективности многоцелевых КДУ, разработанных по методу «гарантированного» результата, показывает, что для КДУ с фиксированными векторами проектных и конструктивных параметров наилучшая эффективность достигается для наиболее «тяжелой» целевой функции из числа реализуемых. При реализации же всех других целевых функций, даже весьма близких, эффективность многоцелевой КДУ всегда хуже.

Повышение эффективности КДУ достигается применением структурного подхода к оптимизации состава КДУ. Множество  $S^*$  значений вектора конструктивных параметров, определяющих структурный состав КДУ, представляется в виде отображения:

$$S^*: SB \times SK (1)$$

где,  $S_B$  – множество значений вектора “ $S$ ”, определяющих базовую структуру многоцелевой КДУ, используемую при решении всего диапазона целевых задач;

$S_K$  - множество значений вектора “ $S_K$ ”, определяющих комплектующие структуры многоцелевой КДУ, используемые при решении отдельных целевых задач.

Задача выбора проектно-конструктивного облика КДУ решается одновременно с задачей адаптации КДУ в состав МКА и выбора системы выставки вектора тяги ЭТМД. Созданные КДУ с различными запасами топлива используют системы выставки вектора тяги ЭТМД, основанные либо на перемещении всей КДУ в двух взаимно-перпендикулярных направлениях, либо на повороте ЭТМД.

### **Разработка системы автоюстировки для лазерной бортовой энергетической установки**

Метельников А.А.

Научный руководитель – Авдеев А.В.

МАИ, г. Москва

Сегодня ведутся работы по созданию лазерных энергетических установок воздушного и космического базирования для воздействия на удаленные объекты [1],[2],[3]. Главной задачей таких лазерных комплексов (ЛК) является получение излучения с требуемым пространственно-энергетическим распределением. Главным фактором, снижающим эффективность ЛК воздушного и космического базирования, является вибрация носителя, которые приводят к разъюстировке всей оптико-электронной системы (ОЭС) таких комплексов [3]. Одним из способов снижения влияния таких возмущений на установку является метод автоюстировки [4], который позволяет осуществлять динамическую настройку ОЭС во время работы комплекса. Суть метода заключается в следующем: в оптическую систему, помимо силового пучка, вводится опорный (маркерный) пучок, который позволяет получать информацию о разъюстировках ОЭС. Существующие на сегодняшний день разработанные системы автоюстировки позволяют осуществлять наведение с точностью до  $20''$  [4]. Однако, такая точность недопустима для лазерных установок [1], осуществляющих воздействие на удаленные объекты. Поэтому, при создании ЛК для воздействия на удаленные объекты актуален вопрос разработки системы, позволяющей осуществлять высокоточное наведение.

В работе проведен обзор современных отечественных и зарубежных разработок ЛК воздушного и космического базирования для воздействия на удаленные объекты. Приведены характеристики основных подсистем ЛК для воздействия на удаленные объекты. Оценены вибрации, которым подвергается бортовой ЛК во время работы. Предложен метод построения системы автоюстировки передающего канала лазерной установки. Совмещение маркерного и силового пучков в таком передающем канале осуществляется в лазерном резонаторе, что позволяет получать более точные данные о разъюстировках ЛК.

Литература:

Авдеев А.В., Башкин А.С., Каторгин Б.И., Парфеньев М.В. Анализ возможности очистки околоземного пространства от опасных фрагментов космического мусора с помощью космической лазерной установки на основе автономного непрерывного химического HF-лазера // Квантовая электроника, 2011, 41 (7), С. 669–674.

Авдеев А.В., Метельников А.А. Теоретическая разработка лидарной установки космического базирования на основе непрерывного химического DF-лазера для мониторинга атмосферы // Электронный журнал «Труды МАИ», 2015 г., выпуск № 81.

Defense Science Board Task Force on HIGH ENERGY LASER WEAPON SYSTEMS APPLICATIONS. – Washington: Office of the Under Secretary of Defense For Acquisition, Technology, and Logistics, 2001. – 232 p.

Червонкин А.П. Оптическая система многоспектральной моноапертурной оптиколокационной станции самолёта с динамической стабилизацией осей функциональных каналов: Автореф. канд. дисс. Москва, 2006.

### **Электрохимические энергоустановки с алюминием и водородом в качестве энергоносителей**

Пушкин К.В.

Научный руководитель – Севрук С.Д.

МАИ, г. Москва

Проблема создания новых высокоэффективных автономных источников энергоснабжения на основе непосредственного преобразования химической энергии в электрическую и их использование в системах распределённого энергоснабжения, в частности, на транспорте, остаётся одной из наиболее актуальных. Для этих целей одной из перспективных является электрохимическая система кислород-водород. Однако пожаро- и взрывоопасность водорода, трудности его получения и хранения являются препятствиями для её широкого распространения. Одним из решений этой задачи может быть получение водорода непосредственно на месте потребления со скоростью расходования.

С другой стороны, имеется или разрабатывается ряд химических источников тока (ХИТ), на основе которых могут быть созданы автономные системы энергоснабжения. Среди них особое место занимают ХИТ на основе электрохимической системы кислород-алюминий ( $O_2/Al$ ). Они представляют собой механически перезаряжаемые источники многоразового действия с высокими энергетическими характеристиками. Расчётные оценки и накопленный нами к настоящему времени опыт разработок показывают, что в энергетических установках (ЭУ) на основе этих ХИТ в зависимости от мощности, времени разряда, применяемого электролита и конструктивного исполнения может быть реализована удельная энергия по массе 200÷500 Вт·час/кг. По этим параметрам они уступают только ЭУ на основе кислородно-водородных ( $O_2/H_2$ ) топливных элементов (ТЭ) с криогенным хранением компонентов и некоторым типам ХИТ с литиевым анодом.

В  $O_2/Al$  ХИТ помимо электрохимического расходования  $Al$  протекает паразитная (с точки зрения токообразующего процесса) реакция его коррозии,

при которой выделяется водород, утилизация которого представляет отдельную проблему. Однако если водород сжигать электрохимически, то применяемый для этого  $O_2/H_2$  ТЭ позволяет повысить энергетическую эффективность всей установки. Предельным случаем такой комбинации является  $O_2/H_2$  ТЭ в паре с работающим в режиме генератора водорода гидронным ХИТ с алюминиевым анодом ( $H_2O/Al$ ). В этом случае рабочий процесс организуется таким образом, что вся выделяющаяся в гидронном ХИТ энергия расходуется на получение водорода. Электрохимический характер этого процесса обеспечивает возможность простого регулирования скорости генерирования водорода в очень широких пределах.

В космических программах применение таких ЭУ наиболее перспективно в случаях, когда начало активной работы установки отодвинуто от момента старта на длительный или неопределённый срок – аппараты для исследования планет, их спутников и астероидов, а также средства автономного перемещения космонавта в космосе.

В авиации  $O_2/Al$  ХИТ целесообразно использовать в качестве аварийных источников и для энергоснабжения наземного технологического оборудования. При этом окислителем является кислород воздуха и  $O_2/Al$  ХИТ превращается в воздушно-алюминиевый (ВА). Применение ВА ХИТ очень перспективно в качестве основных источников энергии малоразмерных дистанционно пилотируемых летательных аппаратов, электролетов, различного назначения.

В наземных условиях перспективно использование этих ЭУ для децентрализованного электроснабжения удалённых и труднодоступных объектов, для заряда аккумуляторов в отсутствии электросети, а также в наземных и водных транспортных средствах.

## **Разработка высокочастотного катода-нейтрализатора для ионного двигателя**

Смирнов П.Е.

Научный руководитель – Хартов С.А.  
МАИ, г. Москва

В настоящее время конструкция большинства электроракетных двигателей (ЭРД) предполагает использование инертных газов. Среди них наиболее предпочтительным является ксенон, благодаря своей низкой энергии ионизации. Ксенон – редкий газ, и стоимость его производства достаточно высока, а с учётом обеспечения требований по его чистоте для эффективной работы эмиттеров катодов, стоимость «заправки» космического летательного аппарата значительно возрастает.

В последние годы начала обсуждаться идея создания ЭРД работающих на газах верхних слоев атмосферы Земли и других планет Солнечной системы, т.е. создания двигателей «прямоточной» схемы. Одной из проблем этой схемы является выбор наиболее эффективного катода, способного работать с химически активными газами атмосферы, будь то кислород в атмосфере Земли, метан и аммиак в атмосфере Венеры, углекислый газ – Марса, или другие.

В работе были проанализированы существующие и альтернативные схемы катодов-нейтрализаторов работающих на химически активных газах,

предложена и разработана конструкция лабораторного образца такого устройства на базе высокочастотного разряда.

Исследования проводились в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» (Соглашение № 14.577.21.0101 от 16.09.2014).

### **Разработка высокочастотного ионного двигателя, работающего на атмосферных газах**

Суворов М.О.

Научный руководитель – Хартов С.А.

МАИ, г. Москва

В последнее время проявляется интерес к использованию малогабаритных космических аппаратов, расположенных на низкой опорной орбите, расположенной между 200 и 250 км над поверхностью Земли. Учитывая, что с увеличением высоты над Землей, плотность атмосферы снижается, аппарат испытывает значительное аэродинамическое сопротивление. Двигательная установка спутника должна непрерывно работать, поддерживая заданную высоту орбиты. При этом время жизни аппарата ограничено запасом рабочего тела, большое количество которого приводит к уменьшению полезной нагрузки спутника. Накладываемые ограничения делают невозможным использование обычных электроракетных двигателей (ЭРД) на спутниках малой массы.

Решение этой проблемы можно найти в использовании остаточной атмосферы в качестве рабочего тела для электроракетного двигателя.

Для исследования проблемы был спроектирован и изготовлен высокочастотный ионный двигатель (ВЧИД) с рабочим диаметром 150 мм. Была проведена серия экспериментов с целью определения базовых характеристик двигателя, а так же расчета оптимальных режимов работы на стандартном рабочем теле – ксеноне. Полученные результаты соответствуют результатам, полученным Гиссенским Университетом ФРГ в 90-е годы на моделях ВЧИД аналогичной конструктивной схемы.

Предполагается проведение экспериментов, направленных на исследование работы двигателя на атмосферных газах на концентрациях, имитирующих условия работы двигателя на высотах  $h \approx 200 \div 250$  км.

Исследования проводились в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» (Соглашение № 14.577.21.0101 от 16.09.2014).

## **Распыление защитных стекол солнечных батарей под действием стационарного плазменного двигателя**

Урнов С.В.

Научный руководитель – Надирадзе А.Б.

МАИ, г. Москва

Боросиликатные стекла широко применяются в качестве защитных покрытий солнечных батарей. Они предназначены для уменьшения негативного воздействия факторов космического пространства и техногенных факторов на мощностные характеристики и работоспособность солнечных батарей.

С развитием технологий изготовления солнечных батарей изменились требования к защитным покрытиям. Например, защитные стекла для солнечных батарей на основе многопереходных фотоэлектрических преобразователей, таких как GaInP(GaAs)/Ge, должны быть прозрачны в большем диапазоне длин волн, чем защитные стекла, предназначенные для солнечных батарей на основе фотоэлектрических преобразователей из монокристаллического кремния.

Требуемые характеристики стекол получают путем изменения химического состава. Разница в химическом составе приводит к различию характеристик образующегося на поверхности рельефа при одинаковых условиях распыления. Например, при воздействии струи стационарного плазменного двигателя при скользящих углах падения на стекла марок CMG100 и K208 характерная высота рельефа, образовавшегося на поверхности стекол отличалась в 10 раз, 60 мкм на поверхности K208 и 600 мкм на поверхности CMG100. При этом внешний вид неровностей похож. В обоих случаях на поверхности наблюдается ионно-ориентированный рельеф.

На процесс образования поверхностного рельефа влияет несколько факторов. В первую очередь это воздействие ионов ксенона на поверхность защитного стекла. Результатом воздействия является выбивание атомов с поверхности защитных стекол, образование дефектов и дислокаций. На поверхности образуется первоначальный рельеф, в дальнейшем происходит увеличение его характерной высоты. Вторым фактором в образовании рельефа на поверхности защитных стекол является поверхностная диффузия. Поверхностная диффузия является процессом массопереноса, индуцированным ионной бомбардировкой поверхности защитного стекла. Из-за селективного распыления примесных атомов на поверхности возникает градиент концентрации атомов материала защитного стекла и процесс поверхностной диффузии приобретает направленный характер. При длительном воздействии поверхностный рельеф переходит в устойчивую форму. Характерная высота рельефа и форма неровностей сохраняются при увеличении глубины эрозии.

Разница характерной высоты рельефа, образующегося на поверхности защитных стекол марок CMG100 и K208 получается из-за большего количества примесей в стекле марки CMG100. В составе CMG100 содержатся следующие оксиды, которые отсутствуют в составе стекла K208, это ZnO, BaO, Li<sub>2</sub>O, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. При этом содержание SiO<sub>2</sub> в CMG100 меньше, чем в K208 примерно на 25%, а содержание В<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на 3%.

В данном случае можно предположить, что в результате распыления защитных стекол, на поверхности стекла CMG100 величина градиента

концентрации по оси z выше, чем у стекла K208, чем и объясняется разница характерной высоты рельефа, при схожести формы неровностей и механизма их образования.

## **Разработка электроклапана для корректирующей двигательной установки малого космического аппарата**

Вавилов И.С., Лукьянчик А.И., Ячменев П.С.

Научный руководитель – Блинов В.Н.

ОмГТУ, г. Омск

В настоящее время актуальной задачей проектирования малых космических аппаратов (МКА) является задача обеспечения минимального энергопотребления (до 10 Вт) аммиачной корректирующей двигательной установки (КДУ) для наноспутника. Решение данной задачи лежит в области создания элементов автоматики с минимальным энергопотреблением, в частности электроклапана (ЭК).

Целью проводимой в настоящее время научно-исследовательской работы является создание малогабаритного ЭК с низким энергопотреблением (до 1 Вт) для работы в составе КДУ наноспутника.

Требования, предъявляемые к ЭК:

- рабочее тело – аммиак;
- входное давление до 2 МПа;
- потребляемая мощность до 1 Вт;
- рабочий ход якоря  $1.2 \cdot 10^{-3}$  м;
- напряжение питания 12 В;
- расход аммиака до 5 – 6 мг/с;
- количество включений-выключений не менее 3000.

Основные конструктивные особенности ЭК:

- якорь имеет коническую форму с наружным конусом;
- по наружному диаметру якоря имеются проточки для улучшения характеристик магнитопровода;
- в состав ЭК входит фильтр (со степенью фильтрации не менее 5 мкм).
- ЭК соединяется с трубопроводами КДУ с помощью сварки.

Материалы, применяемые в ЭК: корпусные детали - сталь 12Х18Н10Т, магнитопровод – пермаллой, уплотнительный элемент – резина НО-68, каркас катушки – фторопласт, обмотка катушки – медь.

Разработана математическая модель ЭК. Определены основные проектные параметры (ОПП):

- длина ЭК – 70 мм;
- диаметр ЭК – 32 мм;
- потребляемая мощность – 0.85 Вт;
- сопротивление катушки – 820 Ом;
- потребляемый ток – 0.07 А
- масса ЭК – 0.08 кг.

В настоящее время ведутся работы по созданию опытного образца ЭК. Опытный образец будет подвергнут автономным исследовательским

испытаниям и испытаниям в составе КДУ с использованием азота и аммиака. По результатам работы будет уточнена математическая модель и ОПП.

Результаты работы будут использованы при создании КДУ по гранту № 14.574.21.0104 «Разработка принципов построения и методов проектирования многоцелевых спутниковых платформ с аммиачными корректирующими двигательными установками в целях создания маневрирующих малых космических аппаратов военного, социально-экономического и научного назначения».

## **СЕКЦИЯ № 54. Технология производства двигателей, агрегатов и энергетических установок**

Руководитель секции: д.т.н., профессор Новиков А.С.

---

### **Мероприятия, обеспечивающие повышение надежной работы масляной системы авиационных двигателей**

Вердиян Э.Г.

Научный руководитель – Силуянова М.В.

МАИ, г. Москва

При работе двигателя, который имеет огромное количество движущихся элементов, трущихся пар, выделяется тепло и снижается энергетический ресурс двигателя. Система подвода масла обеспечивает снижение потерь энергетического ресурса двигателя.

От степени совершенства масляной системы двигателя зависит не только общий срок службы двигателя, но и безотказность его работы. На всех режимах работы двигателя и при любых условиях эксплуатации масляная система должна обеспечивать надежную подачу в двигатель масла с заданными параметрами. Различного рода нарушения подачи масла, даже кратковременные, могут вызвать повышенный износ, перегрев и как следствие – разрушение двигателя.

В процессе эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) имеют место ряд дефектов, которые требуют мероприятий по их устранению. Одним из наиболее часто встречающихся дефектов, является повышенный расход масла, он может нарушить работу не только маслосистемы, но и всего двигателя в целом, повышенный расход нередко сопровождается дымом в кабине пилота. Возникает такой дефект по ряду причин, одной из таких причин является негерметичность разного рода уплотнений (графитовых, резиновых).

Существуют как конструктивные, так и производственные мероприятия по устранению дефектов. К производственным мероприятиям относится изменение какого-либо материала, а к конструктивным – усовершенствование конструкции.

Например, для оперативного контроля за состоянием подшипников были введены термостружкосигнализаторы (ТСС), позволяющие отслеживать продукты износа, попавшие в масляные магистрали. ТСС устанавливают в магистрали откачки. Ужесточена фильтрация масла, проходящего через маслофильтр, путем уменьшения сетки фильтра.

В целях повышения параметров суфлирования увеличили объем маслобака на 50 мм. Это позволило расширить воздушный объем, который в свою очередь повлиял в лучшую сторону на отстаивание пены, и уменьшение вспениваемости. На уменьшение вспениваемости повлияло и усовершенствование воздухоотделителя. Он был поднят над уровнем масла.

В маслоагрегате увеличили глубину колодца, с целью повышения производительности насоса маслоагрегата, шестерни насоса были расширены на 2 мм. Таким образом во время испытаний, при давлении 3,5 кг/см<sup>2</sup> на режиме МГ производительность увеличилась с 55 л/мин до 60 л/мин, а на максимальном

режиме с 89 л/мин до 98 л/мин, это позволило бороться с падением давления масла.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что повышение надежности масляной системы зависит от предложенных мер борьбы с образовавшимися в ней дефектами.

## **Измерение температуры поверхности охлаждающих лопаток турбины при стендовых испытаниях авиационных двигателей**

Версин А.А.

Научный руководитель – Афанасьев В.А.

МАИ, г. Москва

Создание современного авиационного двигателя связано с получением максимальной температуры газа в турбине. Температура поверхности охлаждаемой рабочей лопатки из жаропрочного сплава выше 1300 К, и при этом лопатка должна надежно работать в среде с температурой около 2000 К.

Для проведения стендовых испытаний современных и перспективных ГТД полноразмерных турбин предлагается измерительная система для определения яркостной температуры поверхности охлаждаемой лопатки турбины при ее работе с оборотами порядка 20000 об/мин.

Основными элементами измерительной системы температуры поверхности лопатки турбины является: фотоэлектрический приемник, оптрон, стробоскоп, частотомер и регистрирующая аппаратура.

При помощи фотоэлектрического приемника фиксируется яркость свечения от поверхности лопатки. Для того, чтобы фиксация была именно от одной и той же лопатки в систему питания фотоэлектрического приемника включен «оптрон» который связан со стробоскопом, предназначенным для определения реального числа оборотов вращения турбины. После определения числа оборотов турбины сигнал от стробоскопа равный частоте вращения визируемой поверхности подается на оптрон, и измерение температуры происходит синхронно, как бы при неподвижном состоянии испытуемой лопатки турбины.

Градуировка фотоэлектрического приемника производится по эталонной лампе СИ-8. Проверка лампы по температуре производится с помощью ЭОП-66 (эталонного оптического пирометра) в диапазоне изменения температуры лампы от 900 до 6000 К.

Погрешность измерения температуры поверхности лопатки оценивалась по рекомендациям метрологических требований для расчета среднеквадратической погрешности.

Анализ возможных погрешностей данной системы измерения температуры поверхности материала лопатки показал, что суммарная погрешность не превышает  $\pm 1\%$  при коэффициенте доверительной вероятности  $P=0,95$ .

Литература.

Роль и место экспериментальных исследований при создании перспективных авиационных двигателей. В. И. Бабкин, В. И. Солонин. Научно-технический журнал «Двигатель» №4 (100) 2015

Измерение промышленности. Справ. изд. Под ред. П. Профоса пер. с нем. М. «Металлургия» 1980г.

## **Применение сильноточных импульсных электронных пучков для модифицирования поверхности и ремонта лопаток газотурбинных двигателей**

Громов А.Н.

Научный руководитель – Шулов В.А.

МАИ, г. Москва

Разработка и внедрение новых технологий для повышения долговечности и надежности лопаток газотурбинных двигателей (ГТД) является одной из важнейших проблем авиационного двигателестроения. Именно турбинные и компрессорные лопатки, изготавливаемые из жаропрочных никелевых сплавов и сталей, являясь наиболее нагруженными компонентами двигателя, определяют ресурс и надежность эксплуатации всего изделия. Электронно-лучевая обработка может быть отнесена к наиболее прогрессивным методам модификации поверхности различных деталей. Использование широкоапертурных электронных пучков позволяет осуществлять модифицирование химического и фазового состава тонких поверхностных слоев, а также изменять морфологию поверхности и структуру приповерхностных областей.

В этой связи целью настоящей публикации являлся критический анализ результатов исследований, посвященных разработке основ технологических процессов модифицирования поверхности лопаток компрессора и турбины из жаропрочных сплавов с применением сильноточного импульсного электронного пучка, формируемого в ускорителе «Геза-ММП».

Обработка лопаток СИЭП проводилась на ускорителе «Геза-ММП» (энергия электронов – 115-125 кэВ; длительность импульса - 30-80 мкс; плотность энергии в пучке - 20-90 Дж/см<sup>2</sup>; площадь поперечного сечения пучка - 50-100 см<sup>2</sup>; неоднородность плотности по сечению пучка - 10%)

В качестве объектов исследования использовались лопатки турбины двигателя РД-33 и образцы из сплава ЖС26НК. Кроме того, были изучены лопатки компрессора двигателя РД33 из стали ЭП866Ш ферритного класса с карбидным упрочнением.

Часть лопаток до облучения разрезалась на электроэрозионном станке и исследовалась методами: электронной Оже-спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа и оптической металлографии. Кроме этого измерялись микротвердость ( $H_{\mu}$ ) и шероховатость ( $R_a$ ).

Проанализированы экспериментальные данные о влиянии облучения сильноточными импульсными электронными пучками (СИЭП) на физико-химическое состояние поверхностных слоев и эксплуатационные свойства лопаток ГТД из жаропрочных материалов. Показано, что сильноточный импульсный электронный пучок микросекундной длительности является высокоэффективным инструментом для модифицирования поверхности лопаток турбины и компрессора, обеспечивающим проведение высокоскоростной термообработки (заковки), перекристаллизации материала в поверхностных слоях 20-30 мкм, очистку и выглаживание поверхности. Эти

процессы обеспечивают увеличение усталостной прочности лопаток на 10-30%, жаростойкости в 2-3 раза, сопротивления солевой коррозии до 6 раз.

### **Аналитический расчет укладчика композитной смеси с применением программы FlowSimulation**

Гусаркин С.Н., Триадский Н.Н.

Научный руководитель – Скиданов С.Н.

МАИ, г. Москва

Одним из самых сложных элементов установки формирования пресспакетов тормозных дисков авиационных колес является укладчик уже смешанных углеволокна и каменноугольного пека. Он должен обеспечивать равномерную укладку смеси непосредственно в прессформу. Его фильтры должны практически полностью пропускать излишний воздух из прессформы, при этом удерживать пек под укладчиком, максимальные потери не должны превышать 10% от конечного количества пека в пресспаке и быть достаточно надежным на всех этапах и режимах работы, без каких-либо значимых повреждений. Поскольку в укладчик подаются материалы с воздухом достаточно большого давления, на выходе из него должен быть поток без завихрений, иначе волокно будет ложиться в прессформу неправильно, что скажется на физических свойствах конечного продукта (тормозного диска). Кроме того, внутри самого укладчика не должно быть слишком больших воздушных завихрений, что может привести к неравномерной укладке смеси. Задачей является определение приемлемой с точки зрения аэродинамики конструкции геометрии укладчика. Проектирование конструкции всей установки осуществлялось с применением СГМ SOLIDWORKS. Для проведения расчетов аэродинамики применялся модуль FlowSimulation, который позволяет провести все исследования достаточно быстро и точно. Построение расчетной сетки осуществлялось по геометрической модели укладчика с уплотнением сетки в зонах смешения углеволокна с угольным пеком и в местах подачи полученной смеси в зону укладки. Расчеты, проведенные для различных вариантов расположения эжекторов по общей высоте, а также по высоте относительно друг друга. Кроме того, расчеты проводились для различных вариантов выходного сечения готовой смеси. Проведенные расчеты позволили предварительно осуществить выбор расположения эжекторов подачи углеволокна и подобрать рациональное сечение на выходе смеси. По результатам расчетов была утверждена модель укладчика, которая отвечает всем требованиям, которые к нему представлены. В ходе расчетов было выявлено множество явлений, объясняющие недостатки предыдущей модели укладчика. Отмеченные недостатки учтены в процессе создания промышленного образца укладчика созданной установки. Для проверки точности расчетов с применением программы FlowSimulation были проведены эксперименты, в ходе которых замерялись массовые расходы воздуха на реальном установке и полученные данные сравнивались с расчетными. Погрешность расчетов не превысила 7%.

## **Разработка процедуры аттестации испытательного оборудования, применяемого для контроля характеристик свойств изделий авиадвигателестроения**

Зубрилин А.М., Назырова О.Р.

Научный руководитель – Монахова В.П.

МАИ, г. Москва

Актуальность работы заключается в том, что в июле 2014 года введен в действие государственный военный стандарт ГОСТ РВ 0008-002-2013 «Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования, применяемого при оценке соответствия оборонной продукции. Организация и порядок проведения» [1], регламентирующий требования к организации и порядку проведения аттестации испытательного оборудования (далее – ИО), применяемого при оценке соответствия оборонной продукции. До введения в действие ГОСТ РВ 0008-002 на территории Российской Федерации действовал единый для всей промышленности и обороны государственный стандарт ГОСТ Р 8.568-97 «Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения» [2].

При разработке ГОСТ РВ 0008-002 основой послужил ГОСТ Р 8.568, но в военном стандарте предъявляются более жесткие требования к процедуре аттестации ИО.

В результате отсутствия информации или неполной осведомленности о требованиях ГОСТ РВ 0008-002 возникают ситуации, когда работы по испытанию изделий на конкретном ИО приостанавливают до проведения повторной аттестации.

Аттестация ИО проводится для подтверждения возможности ИО воспроизводить условия испытаний в пределах допускаемых отклонений и установления пригодности к применению в соответствии с его назначением. ГОСТ Р 8.568 и ГОСТ РВ 0008-002 содержат в себе требования к организации и порядку проведения: первичной, периодической и повторной аттестации ИО.

На предприятиях должен быть разработан внутренний нормативный документ бизнес-процесса управления ИО, включающий в себя весь жизненный цикл ИО, учитывая организационную структуру предприятия и требования ГОСТ Р 8.568 или ГОСТ РВ 0008-002 в зависимости от направления деятельности предприятия.

На 1 этапе должна быть определена необходимость ИО для выполнения конкретных испытаний изделия. 2 этап включает в себя выбор способа приобретения конкретного ИО. На 3 этапе выполняют процедуру первичной аттестации для ИО, которое произведено на заказ или собственными силами. На 4 этапе, после проведения аттестации ИО и получения удовлетворительного результата аттестации, ИО готово к вводу в эксплуатацию. На 5 этапе выполняют периодическую аттестацию ИО для подтверждения возможности воспроизведения условий испытаний, через установленные интервалы времени. Если по итогам 5 этапа получен удовлетворительный результат, то ИО пригодно к дальнейшей эксплуатации (этап 6). 7 этап включает в себя проведение ремонта

ИО. На 8 этапе, при необходимости, организуют консервацию ИО. 9 этап включает в себя утилизацию ИО.

Процедура аттестации ИО играет одну из важных ролей в обеспечении безопасности изделий авиадвигателестроения и выполнения ими поставленных функций.

Список литературы

1. ГОСТ РВ 0008-002-2013 «Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования, применяемого при оценке соответствия оборонной продукции. Организация и порядок проведения». – М.: Стандартиформ, 2014 г.

2. ГОСТ Р 8.568-97 «Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения». – М.: Изд-во стандартов, 1998.

## **Определение характеристик композитных керамических покрытий**

Ильина М.А., Ляховецкий М.А.

Научный руководитель – Лесневский Л.Н.

МАИ, г. Москва

Известно, что для авиационно-космического производства характерно широкое использование алюминиевых сплавов, традиционно защищаемых от износа методами анодирования. Но, как показывает сравнительный анализ, покрытия, получаемые методом микродугового оксидирования, обладают лучшими физико-механическими и эксплуатационными характеристикам.

В работе рассмотрены методы определения характеристик композиционных керамических покрытий, сформированных методом микродугового оксидирования (МДО) и показаны результаты сравнения их основных характеристик с покрытиями, получаемые анодированием.

Толщина покрытий, определялась методом разрушающего контроля на металлографическом шлифе поперечного сечения образца с покрытием (прямой и косой срез),металлографическая подготовка которого проводилась на оборудовании фирм Struers и Buhler.

Твердость образцов с покрытием определялась по методу Супер-Роквелла с помощью прибора 2143 ТРС и фиксировалась по шкале Т при внедрении в металл стального шарика диаметром 1,588 мм под нагрузкой 15 кг привремени выдержки под общей нагрузкой 10 с.

Микротвердость покрытия измерялась с помощью микротвердомера модели ПМТ-3 на прямом поперечном (90°) и косом (угол от 3° до 6°) шлифах при нагрузке 0,981 Н с алмазной пирамидой Виккерса со временем выдержки под нагрузкой - 15 с.

Износостойкость и фреттингостойкость образцов определялась, на специально разработанной машине трения, которая состоит из электромагнитного вибратора, который обеспечивает возвратно-поступательные перемещения одного из образцов и системы нагружения, передающей вместо контакта нормальную нагрузку, а также системы регистрации и контроля параметров эксперимента. Для исследования изнашивания образца с МДО

покрытием использовались схема сфера/плоскость, где сферой (контртело) служил технический алмаз.

Измерение объема изношенного образца осуществлялось с использованием специально разработанной методики с помощью профилометра SJ210 путем измерения размеров пятна износа в нескольких плоскостях и численной обработке полученных результатов.

По результатам исследования было проведено сравнение характеристик полученных покрытий с традиционным анодированием и показаны очевидные преимущества композитных керамических МДО покрытий.

## **Разработка многофакторного испытательного стенда для отработки теплозащитных материалов**

Версин А.А., Коваль С.В.

Научный руководитель – Афанасьев В.А.

МАИ, г. Москва

В процессе эксплуатации спускаемых космических летательных аппаратов многократного использования есть участки траекторий полета, когда на теплозащитный материал действуют мощные тепловые потоки, вибрационные нагрузки и все эти воздействия происходят в условиях невысокого вакуума.

В работе представлена принципиальная схема установки для испытаний теплозащитных материалов в условиях одновременного воздействия тепловых и вибрационных нагрузок в разреженной среде.

Для создания в вакуумной камере заданного разряжения были подобраны соответствующие вакуумные насосы.

Создание заданных тепловых потоков осуществлялось за счет использования электродугового нагревателя газа (ЭДНГ).

Для создания вибрационных нагрузок был подобран вибрационный электродинамический стенд ВЭДС-100.

Выбор типа и производительности вакуумного насоса связан с учетом величины расхода газа натекающего в вакуумную камеру через ЭДНГ.

Выбор типа вибрационного стенда основывался с необходимостью воспроизведения частот колебаний в диапазоне 20-2000 Гц и веса полезной нагрузки около 10 кг.

В работе предложена схема саморазгружающегося ввода вибрационного стенда в вакуумную камеру.

Объект исследования имеет размеры 250\*250\*50 мм и весом вместе с приспособлением для крепления в вакуумной камере около 8кг.

На стенде предусмотрены системы измерения температуры поверхности испытуемого объекта, давления в вакуумной камере и параметров колебаний объекта испытаний.

Литература.

Экспериментальная отработка космических летательных аппаратов В.А. Афанасьев и другие, Москва издательство МАИ 1994 г.

## **Численное моделирование штамповки заготовок лопаток КВД в программном комплексе DEFORM-3D**

Болховитин М.С., Королёв Н.Н.

Научный руководитель – Монахова В.П.

МАИ, г. Москва

При производстве деталей для авиационной промышленности ввиду особо ответственного назначения данной продукции к ее качеству и срокам изготовления предъявляются высокие требования. Соответствие этим требованиям в настоящее время в значительной степени обеспечивается применением современных систем автоматизированной конструкторско-технологической подготовки производства.

Одними из наиболее массовых деталей газотурбинного двигателя являются лопатки компрессора. Лопатки в газотурбинных двигателях являются также и наиболее нагруженными деталями, определяющими надежность, ресурс, стоимость и трудоемкость изготовления двигателя. Их число в современном двигателе составляет от 2 до 3,5 тыс. штук. Существующая в настоящий момент в РФ технология производства лопаток компрессора не однозначна. Несмотря на достигнутый значительный прогресс в отдельных областях технологии производства лопаток компрессора (получение точных заготовок лопаток, обработка элементов хвостовиков, обеспечение заданного качества поверхности и т.д.), остается до конца не решенным целый комплекс вопросов, связанный с необходимостью устранения ручного труда и повышения уровня автоматизации производства лопаток компрессора. Трудоемкость изготовления лопаток составляет 20-30% трудоемкости изготовления всего двигателя. В технологическом процессе изготовления лопаток можно выделить два основных этапа: получение заготовки и механическую обработку.

Наиболее ресурсоемким технологическим процессом при производстве лопаток компрессора является изготовление штампа для горячего штампования заготовок.

Применение математического моделирования технологических процессов в кузнечно-штамповочном производстве позволяет вносить необходимые корректировки в схему технологического процесса и в геометрию гравюры штамповой оснастки технологических переходов на стадии ее проектирования. Это преследует несколько целей: минимизация как зон затрудненной деформации, так и зон локализации деформации для исключения образования деформационного перегрева и формирования отрицательной текстуры поковки, достижение необходимого уровня свойств готовых изделий путем оптимизации режимов деформирования на ковочных и штамповочных переходах.

Интеграция систем математического моделирования в уже устоявшиеся технологические процессы обработки металлов давлением, является перспективным методом, позволяющим уменьшить сроки и затраты на конструкторско-технологическую подготовку, а также обеспечить высокое качество продукции.

В настоящей работе представлены результаты численного моделирования штамповки заготовок лопаток КВД и методика анализа сходимости полученных результатов с реальными процессами формообразования.

Список литературы:

Уваров Л.Б. Повышение эффективности технологических процессов производства лопаток компрессора авиационных гтдпутём совершенствования структуры и управления точностью электрохимического формообразования., Диссертация, Рыбинск1998.

<http://www.thesis.com.ru/software/deform/>

<http://www.deform.com/products/deform-3d/>

Карасев В.Е., Семенченко И.В. Основные направления совершенствования технологии производства лопаток ГТД //Приложение к журналу: Авиационная промышленность. -1986.-№5.-С.2-4.

## **Разработка испытательных средств для оценки прочности авиационных двигателей при столкновении с посторонними предметами**

Вартанов А.К., Кунавин А.М.

Научный руководитель – Афанасьев В.А.

МАИ, г. Москва

В настоящее время требуется обеспечить наиболее безопасные полеты, работу двигателей, самолетов. Для этого необходимо проводить всевозможные виды испытаний, которые помогут определить слабые и сильные стороны механизма, а также выявить дефекты, при их наличии.

Одним из видов обеспечения безопасности полета служат испытания на попадание ПП (посторонних предметов), которые позволяют собрать больше данных о том, какие меры необходимо принимать при попадании ПП и возможные варианты предупреждения попадания ПП в авиационный двигатель.

Наиболее распространена пневматическая пушка для испытаний на столкновение с ПП. Принцип действия которой предельно прост. Перед выстрелом рабочее тело (обычно, воздух) нагнетается в ресивер пушки до достижения заданного давления. Полость ресивера отделена от ствольной части пушки быстродействующим клапаном, который до выстрела закрыт, а для выполнения выстрела открывается. Тогда сжатый воздух перетекает в ствольную часть и выталкивает заряд - происходит выстрел. Такая пушка легко может обеспечить скорости запуска от 100 до 280 м/с, однако для испытаний на низких скоростях она практически не приспособлена.

На данный момент используется только один рабочий способ достижения низких скоростей для испытания на столкновение с ПП:

- В существующую пневматическую пушку закачивают такое же количество сжатого воздуха, однако снаряд выставляют практически на выходе из ствольной части, что обеспечивает скорости менее 100 м/с, однако в таком случае дальность выстрела, а также кинетическая энергия снаряда будет намного меньше, вследствие чего он пролетит не больше 2-3 м. Что не обеспечивает высокую точность при испытаниях.

В качестве второго способа, я предлагаю соорудить испытательную установку по принципу арбалета. Разместить снаряд в каретке, на небольших рельсовых путях, которая будет приводиться в движение резиновыми жгутами. При оттягивании каретки на определенное расстояние, а также при рассчитанных

параметрах жгутов, при запуске, будет возможно получение необходимых малых скоростей 20-80 м/с.

### **Литература**

Экспериментальная отработка космических летательных аппаратов. Афанасьев В. А. Изд-во МАИ, 1994

## **Физическое моделирование процесса фреттинг-износа элементов авиационной и космической техники**

Ляховецкий М.А.  
МАИ, г. Москва

Известно, что фреттинг-изнашивание возникает при контакте поверхностей двух тел с малым относительным возвратным перемещением с амплитудой обычно 1-100 мкм. Этот вид малоамплитудного изнашивания появляется при работе номинально неподвижных контактов в условиях вибрации или циклического нагружения. Такие условия в контакте могут являться причиной возникновения локального износа или появления усталостных трещин, которые могут значительно уменьшить сопротивление усталости таких контактов.

Фреттинг-изнашивание сложный процесс, который, в общем случае, включает в себя следующую последовательность этапов: удаление естественной оксидной пленки, рост взаимодействия поверхностей контакта, сопровождающийся ростом коэффициента трения и формированием «третьего тела» из продуктов износа, отделение частиц металла и формирование слоя дебризов (осколков) и последовательный переход от контакта двух тел к контакту трех тел, продолжение формирования дебризов и их удаление из зоны контакта с переходом к процессу стационарного износа.

В общем случае, моделирование в трибологии имеет различные разновидности, но к наиболее информативной из них следует отнести имитационное (гибридное) моделирование, в котором сочетаются методы математического и физического (экспериментальное) моделирования.

Сложность изучения процессов фреттинга и их моделирования связана, в первую очередь, с изменением механизмов разрушения материалов в контакте при изменении условий фреттинга: амплитуды ( $\delta_x$ ), нагрузки ( $F_n$ ), частоты вибрации ( $f$ ), количества циклов ( $n$ ), коэффициента трения ( $\mu$ ), окружающей среды, температуры.

Для исследования механизма фреттинга была использована схема узла трибоконтакта, которая включала в себя: образец с покрытием или без, контрообразец, зажатые в приспособлении и приведенные в соприкосновение, пьезоэлектрический датчик силы, регистрирующий силу трения между трущимися телами, и оптический датчик возвратно-поступательного перемещения, реализуемого с использованием электромагнитного вибратора.

С использованием энергетического подхода, развитого для изучения процесса фреттинг-износаобразцов с покрытиями, определены критерии переходных режимов фреттинга. Получен энергетический коэффициент фреттинг - износа, позволяющий прогнозировать объемный износ покрытия при различных режимах нагружения трибоконтакта.

## **Роль метрологического обеспечения в авиационной промышленности**

Назырова О.Р.

Научный руководитель – Афанасьев В.А.

ОАО «Ил», г. Москва

Актуальность темы заключается в рассмотрении одного из главных инструментов, применяемых при создании и эксплуатации изделий авиационной промышленности (двигателей в целом, отдельных узлов и модулей двигателя, планера и т.д.) – метрологического обеспечения, которое контролируется на всех этапах жизненного цикла изделий авиационной промышленности.

При создании авиационного изделия на него разрабатывается необходимая техническая документация, на основании которой создаются отдельные части изделия, производится его сборка, испытания, эксплуатация, техническое обслуживание, продление ресурса, ремонт и утилизация. В каждом из этапов жизненного цикла авиационного изделия присутствует метрологическое обеспечение.

Метрология – это не только допуски и посадки, это более широкое понятие, включающее в себя целую науку – науку об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства, и способах достижения требуемой точности.

В процессе разработки технической документации на изделие проводится ее метрологическая экспертиза, которая включает в себя анализ и оценивание технических решений в части метрологического обеспечения, а именно технических решений по выбору измеряемых параметров, установлению требований к точности измерений, выбору методов и средств измерений, их метрологическому обслуживанию.

Очень важно корректно выбрать, соответствующие требованиям на изделие, методы и средства измерений для того, чтобы точность измерений была наиболее высокой, то есть приблизить погрешность измерений к нулю.

При производстве и испытаниях изделия применяются не только средства измерений, но и средства контроля, индикаторы, стандартные образцы и испытательное оборудование. На них распространяются требования нормативно-правовых документов Российской Федерации в части метрологического обеспечения. [2]

Средства измерений и контроля применяются не только на этапе производства и испытаний изделия, но и на этапе эксплуатации и утилизации.

Одной из главных составляющих метрологического обеспечения является метрологический надзор, представляющий собой периодическую проверку выполнения в подразделениях предприятия установленных законодательством Российской Федерации обязательных требований в части метрологического обеспечения. [1]

Метрологическое обеспечение играет одну из важных ролей при создании изделия авиационной промышленности, ведь от правильности выбора и применения средств измерений и контроля, индикаторов, стандартных образцов и испытательного оборудования зависит соответствие готового изделия авиационной промышленности требованиям, заданным в тактико-техническом задании на него, а следовательно, и безопасность для людей.

Список литературы:

Федеральный закон от 26.06.2008 года № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».

ГОСТ РВ 0008-001-2013 Государственный военный стандарт. Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение единства измерений при выполнении государственного оборонного заказа. Общие требования к организации и порядку проведения метрологических работ. – М.: Стандартиформ, 2014 г.

### **Методики формирования защитных покрытий методом микродугового оксидирования и исследования их износа**

Ляховецкий М.А., Николаев И.А.

Научный руководитель – Лесневский Л.Н.

МАИ, г. Москва

Повышение ресурса и надежности элементов двигателей летательных аппаратов (ДЛА) и энергоустановок (ЭУ), а также систем, обеспечивающих их эффективное функционирование в составе любых летательных аппаратов, характеризуются непрерывным ужесточением условий их эксплуатации и производства. Это приводит к возникновению целого ряда конструкторско-технологических проблем, связанных с использованием, прежде всего, металлов с низким удельным весом и высокой удельной прочностью, таких как Al, Ti, Mg. Одной из важнейших характеристик эффективного функционирования элементов ДЛА и ЭУ, выполняемых, в частности, из алюминиевых сплавов, является сопротивление механическому износу. Он обусловлен явлениями, которые наиболее интенсивно протекают в поверхностных слоях (ПС) и являются основной причиной снижения работоспособности и долговечности деталей.

Поэтому в настоящей работе рассмотрены возможности процесса формирования композитных защитных покрытий методом микродугового оксидирования (МДО). В работе рассмотрен состав экспериментальной установки МДО, порядок её функционирования и представлены результаты определения физико-механических свойств сформированных покрытий. Для определения эксплуатационных характеристик покрытий, и в частности, характеристик износостойкости в зависимости от величин нагрузки и скорости скольжения в контакте трения рассмотрена конструкция установки трения и обсуждается методика проведения испытаний на износ. Принцип действия установки основан на истирании пары трения, которая представляет собой неподвижный палец, прижимающийся с выбранным усилием к торцевой плоскости вращающегося диска. Регистрируемые основные параметры трения: нагрузка (Н), скорость (м/с), путь трения (м), температура в контакте трения (°С), окружающая среда, и среди дополнительных параметров: коэффициент трения и величина сближения образцов во время эксперимента. Представлены методики и результаты обработки данных эксперимента: вычисление объемного износа (мм<sup>3</sup>) обоих образцов по отдельности двумя способами: геометрическим и по потере массы.

## **Опыт внедрения аддитивных технологий на факультете Двигатели летательных аппаратов**

Боровиков Д.А., Селиверстов С.Д., Стариков П.А.

Научный руководитель – Ионов А.В.

МАИ, г. Москва

Формирование компетенций при построении образовательного процесса по инженерным направлениям подготовки невозможно представить без практического применения теоретических знаний в решении реальных задач проектирования и производства технических систем. Таким образом, для построения эффективной образовательной системы в области инженерных наук необходимо активное вовлечение обучающихся в научные разработки. При этом необходимо предоставлять возможность обучающимся реализовывать свои разработки в "железе" в виде экспериментальных изделий и образцов. Описанию конкретных достигнутых результатов при построении такой системы посвящена данная работа.

Основными используемыми инструментами в предлагаемом подходе являются методики цифрового проектирования и применение аддитивных технологий в производстве экспериментальных образцов.

Основные направления деятельности РЦ МАИ: обеспечение НИОКР подразделений института и его промышленных партнеров, обеспечение мелкосерийного и единичного производства для создания промышленных объектов, реверс-инжиниринг и контроль деталей сложной геометрической формы. Самыми интересными проектами в этих областях являются:

- исследования систем пленочного охлаждения лопаток ГТД;
- исследования в области сверхзвуковых течений в каналах;
- проектирования и исследования ВРД в классе тяг до 1000 Н;
- изготовления выжигаемых моделей и оснастки для производства ЖРД и ЭРД;
- изготовление корпусов для различных электронных устройств.
- реверс-инжиниринг в наземных испытаниях гиперзвукового ЛА;
- разработка методик контроля лопастей из ПКМ для вертолетной техники;
- реверс-инжиниринг винтов учебно-тренировочного самолета.

Отдельным направлением является стимулирование обучающихся к выполнению и реализации научно-технических проектов по собственным идеям. Такими проектами стали, например:

- создание авторского дизайна пейнбольного оборудования;
- разработка малоразмерного ледогенератора.

В целом можно сказать, что возможности применения автоматизированных производственных систем в НИОКР и в образовательном процессе сильно недооценены и требуется разработка методик их внедрения в различные области прикладных исследований и учебные курсы.

Список литературы

Болховитин М.С., Ионов А.В., Селиверстов С.Д. Развитие области применения автоматизированных производственных систем при натурном моделировании процессов и конструкций ЛА / Тезисы докладов. 20-я научно-

техническая конференция молодых ученых и специалистов. Королев – 014. – С. 398-400

Ионов А.В., Катенин Д.А., Федосеев С.В. Цифровая обработка физических объектов при производстве и экспериментальных исследованиях авиационной техники / Сборник аннотаций работ. Конкурс научно-технических работ и проектов "Молодежь и будущее авиации и космонавтики" - М.: МАИ-Принт. - 2011. С. 135-136

## **Методика сопоставления альтернативных вариантов технологии на основе комплексного критерия эффективности**

Слободяник А.С.

Научный руководитель – Рябов А.Н.

РГАТУ им. П.А. Соловьёва, г. Рыбинск

Задача выбора наилучшей технологии изготовления продукции в последнее время приобретает все большую значимость. Особое внимание уделяют технологии изготовления деталей двигателей летательных аппаратов, к которым предъявляются повышенные требования. Только рациональное сочетание в технологии технических, экономических и организационных принципов позволит современному предприятию выпускать конкурентоспособную продукцию. Также при этом следует учитывать фактор, зачастую оставляемый без внимания, – невысокая надежность парка производственно-технологического оборудования. Таким образом, задача выбора наилучшего варианта технологии изготовления из нескольких альтернативных может быть дополнена задачей управления структурой маршрутного технологического процесса изготовления детали с учетом работоспособности производственно-технологического оборудования.

В ходе выполнения исследовательской работы [1, 2] автором была разработана методика выбора оптимального варианта технологического процесса с использованием комплексного критерия эффективности ( $F$ ), объединяющего частные критерии максимальной производительности, минимальной себестоимости, а также минимальной длительности выполнения производственного плана. Такое сочетание критериев позволит произвести максимально полное сопоставление альтернативных вариантов выполнения каждой технологической операции, а в перспективе и технологического процесса в целом.

В общем виде предлагаемая методика включает шесть основных этапов:

- формирование и ввод исходных данных с учетом системы ограничений, сформированных в результате проведения предварительных исследований, либо экспертной оценки;
- моделирование сетевых структур альтернативных вариантов технологических процессов существующего производства с позиции выделенного частного критерия;
- оптимизационный поиск наилучшего варианта технологии по выделенному частному критерию с использованием метаэвристической оптимизации;

- оценка результативности найденных вариантов решения для сравниваемых технологических процессов;
- корректировка исходных данных и повторение процедуры оптимизации (при необходимости);
- формализованное отображение результатов.

Корректировка исходных данных позволяет в процессе исследования осуществлять управление сетевой моделью технологического маршрута изготовления детали, что бывает необходимо не только на этапе технологической подготовки производства, но и при выполнении оценки эффективности действующего технологического процесса. Учет предельно допустимых значений выделенных частных критериев, позволяет определить потенциальные колебания значения комплексного критерия в пределах определенного поля допуска ( $\pm H$ ), что сводит задачу сложного сопоставления вариантов операций технологического процесса изготовления продукции к простой задаче сравнения значений комплексного критерия.

Список использованных источников

1) Рябов А.Н., Слободяник А.С. Интеграция средств автоматизации технологической подготовки производства с целью повышения эффективности работы предприятия [Текст] // ВЕСТНИК РГАТУ имени П. А. Соловьева: научный журнал. – Рыбинск: РГАТУ, 2014. – №4(31). – С.49-54

2) Рябов А.Н., Слободяник А.С. Оценка и выбор оптимальной технологии на этапе технологической подготовки производства применительно к существующей базе технологического оборудования [Текст] // ВЕСТНИК РГАТУ имени П.А. Соловьева: научный журнал. – Рыбинск: РГАТУ, 2015. – №4(35). – С.28-30

### **Исследование способов постобработки деталей, полученных методом послойного наложения расплавленной полимерной нити**

Стариков П.А., Селиверстов С.Д.  
 Научный руководитель – Ионов А.В.  
 МАИ, г. Москва

Изделия, полученные методом послойного наложения расплавленной полимерной нити (Fused Deposition Modeling) или FDM, имеют самую низкую себестоимость и как следствие большую распространенность [1]. Технология FDM применяется при создании моделей, функциональных прототипов и готовых деталей из термопластиков. Эта технология печати обеспечивает механическую, термическую и химическую прочность деталей. При всех достоинствах данной технологии у нее есть существенный минус – это качество поверхности, именно поэтому необходима постобработка.

Нами проводится исследование и подбор способов доведения внешнего вида изделия (постобработка), что повысит конкурентоспособность технологии по сравнению с более дорогими способами 3D печати.

Существуют следующие методы постобработки: механические, химические, окрашивание. Исследуются следующие материалы: ABS – пластик «Bestfilament» белого цвета (диаметр 1.75; температура экструзии 230-270 °С) и PLA – пластик «Esun» черного цвета (диаметр 1.75; температура экструзии 190-

220 °С). Нами выбраны именно ABS и PLA пластики, так как они являются самыми доступными и распространенными.

В работе рассматриваются только химические методы обработки, так как они обеспечивают наибольшую производительность и качество поверхности [2]. Основные химические способы постобработки – это окунание в реагент, контактная обработка и обработка парами реагента. В работе исследуются следующие химические составы: ацетон, тетрагидрофуран и изопропиловый спирт.

Исследования показали, что самым эффективным способом химической постобработки является обработка парами для обоих типов пластиков. При этом способе обработки изделие опускается в емкость с кипящим химическим составом. Для ABS наиболее предпочтительным реагентом является ацетон, а PLA-пластик лучшего всего обрабатывается парами тетрагидрофурана. Необходимо отметить ряд недостатков данного метода постобработки, таких как сглаживание углов и мелких элементов, прилипание к опоре и необходимость работы в специально оборудованном помещении.

В тех случаях, когда необходимо сохранить острые углы и мелкие элементы более целесообразно применять контактную обработку: нанесение реагента на изделие кисточкой из натуральных волокон.

В работе рассмотрены только химические методы постобработки, но в дальнейшем планируется изучение влияния других методов обработки. Также запланировано проведение исследования прочностных свойств изделий из различных материалов для FDM-технологии.

#### Список литературы

Болховитин М.С., Ионов А.В., Селиверстов С.Д. Развитие области применения автоматизированных производственных систем при натурном моделировании процессов и конструкций ЛА / Тезисы докладов. 20-я научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов. Королев – 014. – С. 398-400

Постобработка пластика после 3D-печати: механическая и химическая: [Электронный ресурс] // Интернет-магазин 3D-оборудования Электромеханический завод ЗВИ. URL: <http://rusabs.ru/blogs/blog/kak-gaspechatannye-na-3d-printere-obekty-sdelat-glادkimi/>. (Дата обращения: 10.02.2016).

### **Влияние облучения сильноточными импульсными электронными пучками на адгезию вакуумно-дуговых покрытий NiCrAlY на лопатках турбины ГТД из сплава ЖС26НК**

Теряев Д.А.

Научный руководитель – Шулов В.А.

МАИ, г. Москва

Среди серийных лопаток из жаропрочных никелевых сплавов присутствуют отдельные экземпляры, содержащие достаточно крупные зерна 100-200 мкм, формируемые за счет ликвационных или сегрегационных процессов на стадиях литья или высокотемпературного отжига; практически во всех лопатках присутствует поликристаллическая «рубашка», образующаяся в зоне сцепления покрытия с подложкой из-за использования при подготовке поверхности под

нанесение покрытия пескоструйной обработки и последующего, уже после осаждения, высокотемпературного отжига. Формируемое по серийной технологии ВПТВЭ (вакуумно-плазменная технология высоких энергий) покрытие, характеризуется высокой степенью неоднородности фазового и элементного составов, содержит протяженные области с низкой концентрацией алюминия и заметным присутствием элементов жаропрочного сплава; последнее объясняет неудовлетворительную жаростойкость вакуумно-дугового покрытия. Электронно-лучевая обработка приводит к образованию однородного «безпористого» слоя толщиной 20-25 мкм с концентрацией алюминия до 9-10 мас. %, что обеспечивает более высокий уровень эксплуатационных свойств облученных лопаток по сравнению серийными.

Кроме того, формируемые в процессе высокоскоростного нагрева, плавления и кристаллизации термические напряжения могут приводить к отслаиванию покрытия, если система подложка-покрытие обладала до облучения низкой адгезией. Еще одна важная проблема, связанная с адгезией покрытий, возникает при ремонте лопаток, когда с помощью электронного пучка удается удалить деградированное при эксплуатации покрытие и необходимо нанести новое покрытие.

Проанализированы экспериментальные данные о влиянии режимов облучения сильноточными импульсными электронными пучками (СИЭП) на адгезию защитного покрытия NiCrAlY на лопатках из сплава ЖС26НК. Показано, что сильноточный импульсный электронный пучок микросекундной длительности является высокоэффективным инструментом для контроля адгезии жаростойких покрытий на поверхности монокристаллических лопаток из жаропрочных сплавов. Применение СИЭП позволяет на стадии модификации физико-химического состояния защитного покрытия NiCrAlY проводить контроль качества турбинных лопаток. Установлено, что при реализации ремонта турбинных лопаток с помощью СИЭП не удастся подготовить поверхность для нанесения нового защитного покрытия без пескоструйной обработки.

## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абашев В.М. .... 457  
Аббасов В.М. .... 222, 279  
Абдуллин М.Р. .... 657, 658  
Абдурахманов В.Г. .... 539  
Аблясова А.Г. .... 487  
Абрашкин Д.А. .... 23  
Авдеев А.В. .... 716  
Авдюхина А.А. .... 370  
Аверьянов И.О. .... 354  
Аверяскина М.А. .... 587  
Аврашков В.Н. .... 660  
Агапитов К.А. .... 121  
Агапов И.Г. .... 436  
Агафонова Г.В. .... 452, 470  
Агашин А.О. .... 347  
Агеев Е.Л. .... 48  
Адаменко Н.А. .... 445, 452  
Адамовский В.В. .... 235  
Адеев А.Х. .... 86  
Аджибеков А.А. .... 172  
Адиев И.Н. .... 659  
Азаров А.А. .... 371, 420  
Акзигитов В.А. .... 436  
Акилин В.И. .... 176, 178, 180,  
183, 187, 188, 190, 196, 197, 207  
Акимов А.В. .... 437, 438, 462  
Акимов Н.Б. .... 360  
Акопова Т.А. .... 451, 494  
Алдобаева О.С. .... 8  
Алдошина А.И. .... 540  
Александров М.Н. .... 575, 583  
Александровская Л.Н. .... 132, 133  
Алексеев И.А. .... 498  
Алексеев О.А. .... 172  
Алексеева В.Д. .... 588  
Алендарь А.Д. .... 87  
Алехин Э.Г. .... 141  
Алёхин Э.Г. .... 127  
Аликина А.С. .... 153  
Алияров М.Э. .... 367  
Алпаткина Ю.О. .... 589  
Алтунин В.А. .... 657, 658, 666, 684  
Алчин Р.М. .... 439  
Альшакова Е.А. .... 49, 50, 52  
Альшакова Е.Л. .... 49, 50, 52, 53,  
54, 56, 78  
Алявдина Е.С. .... 368  
Аманова А.Ж. .... 499  
Амелин А.С. .... 500  
Амелюшко А.М. .... 24  
Амирова Л.М. .... 439, 442, 495  
Амирова Л.Р. .... 495  
Андреев Д.Н. .... 369  
Андрианова Н.Н. .... 236  
Андронников В.В. .... 590, 619  
Аникин В.А. .... 237  
Аникин К.А. .... 238  
Анохин А.Н. .... 39, 42  
Антоновский И.В. .... 669, 690  
Ануфриенко Е.П. .... 440  
Апухтина Т.Л. .... 441  
Аракелян А.Д. .... 88  
Арсентьева М.В. .... 695, 707  
Артамонов Б.Л. .... 333  
Архипов И.С. .... 123  
Асоскова М.Е. .... 591  
Астапов В.Ю. .... 210, 212, 217  
Астахов Е.Е. .... 375  
Аушкин Г.И. .... 209  
Афанасьев В.А. .... 724, 729, 731, 733  
Афанасьев В.П. .... 251, 259  
Афшари Паям .... 210  
Ахмедянова А.Р. .... 541  
Ахрамович А.А. .... 542, 548  
Бабаева О.В. .... 592  
Бабаевский П.Г. .... 449, 481  
Бабин С.В. .... 312, 313  
Бабичев С.Г. .... 173  
Бадранов И.Ш. .... 211  
Баженова А.В. .... 89, 276  
Байгалиев Б.Е. .... 437, 438, 462  
Баимова А.В. .... 174  
Баймуратова Д.Б. .... 24  
Бакаева А.А. .... 594  
Балкен Д.Б. .... 595  
Балькаев Д.А. .... 442  
Баранов А.М. .... 162, 165, 167  
Баранов П.Н. .... 173, 184  
Бар-Гнар А.И. .... 596

Барменков Е.Ю. ....	543, 544	Божко С.А. ....	370, 377
Бархатнов И.И. ....	348	Бойцов А.Г. ....	280, 288, 293, 318, 676, 683
Бархатов В.В. ....	333	Бойцов. А.Г. ....	309
Барыбина Е.В. ....	25	Бойцова Д.А. ....	91
Барынин В.В. ....	373	Боков М.М. ....	58, 585
Басков Ф.А. ....	501	Бокша Л.В. ....	8, 15, 21
Басов В.Ю. ....	154	Болгова А.С. ....	57
Бачеева А.В. ....	382	Болсуновская Т.А. ....	242
Безбородова А.А. ....	155	Болховитин М.С. ....	730
Беззаметнов О.Н. ....	442, 495	Бондаренко Д.И. ....	378
Беклемишев Н.Н. ....	367	Бондаренко Н.В. ....	125
Белевцов В.А. ....	325	Борзов В.И. ....	568, 578
Беликова А.С. ....	124	Борзых А.В. ....	50
Белимов В.Д. ....	57	Борисевич А.Н. ....	325
Белкин А.А. ....	125, 127, 135	Борисов А.А. ....	379, 381
Белкин В.С. ....	239	Борисов А.М. ....	237, 238, 246, 257, 273
Белов П.Г. ....	614, 641	Борисова В.А. ....	326
Белов С.П. ....	212	Борисова Е.В. ....	541, 542, 543, 544, 546, 548, 549, 553, 555, 556, 560, 563, 566, 569, 571, 573, 579, 581
Белова Л.А. ....	10	Боровик И.Н. ....	702, 710
Белова С.Е. ....	95, 659, 677, 678	Боровиков Д.А. ....	735
Белоглазов И.Ю. ....	26	Борунова Т.И. ....	502
Белоусов В.Б. ....	214	Боярский Г.Г. ....	598
Беляев А.В. ....	374	Бриштель Я.С. ....	382
Беляев Е.Д. ....	175	Брулев А.Г. ....	177
Беляева М.М. ....	375	Булычев С.Н. ....	609
Беляева Н.В. ....	597	Бурнаев А.В. ....	383
Беляков В.А. ....	686	Буров С.В. ....	243
Беляков М.О. ....	376	Бурова М.Г. ....	687
Белякина А.К. ....	405	Бут А.Б. ....	142, 146
Бережной Д.В. ....	500, 503	Бутеева О.С. ....	503
Беспалов А.В. ....	517	Бухаров С.В. ....	444, 463, 475, 478
Бехтина Н.Б. ....	334, 338	Бухтеева И.В. ....	211
Бецофен С.Я. ....	370, 377, 386, 387, 395, 409	Быкадоров А.Н. ....	509
Бизяев Р.В. ....	135	Вавилов И.С. ....	715, 721
Бирюк В.В. ....	134	Вагранский В.А. ....	215
Битт В.В. ....	443, 458	Валевин Е.О. ....	444
Блатиков. Г.А. ....	121	Валеева А.Р. ....	599
Блинов В.Н. ....	715, 721	Ванчурина М.Д. ....	546
Блохина А.В. ....	241	Варданян Е.С. ....	601
Бобкова К.А. ....	176	Варганов А.К. ....	731
Бобров М.А. ....	564	Варфоломеев М.С. ....	441, 505
Боброва О.М. ....	588, 627	Васнев В.В. ....	427
Бобрышев Б.Л. ....	536	Василевский Д.О. ....	686
Бобрышев Е.Б. ....	543, 544		
Богданович В.И. ....	90		

Васильев А.М. ....	156, 198	Вуколов П.Ю. ....	506
Васильев В.А. ....	547, 550, 564	Вятков В.В. ....	661, 680
Васильев С.Л. ....	364, 572	Гаврилов С.А. ....	542, 548, 568
Васильев Ф.В. ....	202	Гаврилов С.В. ....	391
Васильева В.С. ....	428	Газизова А.Ю. ....	179
Васильева Г.Ю. ....	598	Галимов Э.Р. ....	374
Васимова И.Н. ....	348	Галимова А.Р. ....	649
Васькова Е.А. ....	600	Галкин А.Ф. ....	390
Великанова В.Ю. ....	93	Галкин В.И. ...	178, 188, 190, 508, 521
Великов А.Ф. ....	429	Галкин К.А. ....	537
Величенкова А.С. ....	326	Гаршина А.А. ....	9
Вельмакина Ю.В. ....	547	Гафиятуллина С.И. ....	447
Вердиян Э.Г. ....	723	Гвоздева М.А. ....	605
Веремьев Н.А. ....	602	Гвоздева О.Н. ....	415
Веретенников И.Ю. ....	604	Герасименко Т.Н. ....	606
Верещиков Д.В. ....	16	Герасимчук И.С. ....	42
Версин А.А. ....	724, 729	Герашенко С.А. ....	592
Видикер Д.Н. ....	445	Герман М.А. ....	392, 393
Викулин А.В. ....	87, 91, 96, 98, 100, 101, 103, 105	Гидрович А.С. ....	607
Виничук Т.А. ....	601	Гитинаев И.М. ....	573
Виноградов Р.Е. ....	423, 430	Гнесин Е.М. ....	660
Винокуров Д.А. ....	277	Гогаев Г.П. ....	668
Власенко А.Н. ....	511	Головкин С.А. ....	507
Власов О.Ю. ....	326	Головкина М.Г. ....	508
Власов С.В. ....	446	Голомазов А.В. ....	28
Волженцов А.А. ....	673	Голубев Д.А. ....	215
Волков А.А. ....	94	Гончаров А.В. ....	216
Волков С.И. ....	178	Гончаров С.С. ....	416, 418
Волкова Е.А. ....	431	Горбатенков Г.Ю. ....	279
Воловод Д.А. ....	42	Горбачев С.И. ....	609
Волохов В.М. ....	88	Гордеев Д.С. ....	379
Волхонский А.Е. ....	9, 13	Горелов А.О. ....	202
Вольф Е.И. ....	140	Горелов Л.С. ....	565
Вольф И.Э. ....	140	Горчаков Н.Н. ....	608
Вольхин К.А. ....	63	Горчакова И.М. ....	608
Воробьев А.А. ....	505	Горшкова Ю.С. ....	443
Воробьев А.Г. ....	686	Горячев А.А. ....	509
Воробьев Д.Н. ....	178	Графкина М.В. ....	591, 622
Воробьева С.С. ....	597, 604, 632, 651, 688	Грачев М.В. ....	280
Воробьева С.С. ....	639	Гребенюк Е.И. ....	184, 186, 191, 194, 200, 201, 203, 205
Вороничева И.А. ....	278	Григорьев А.Л. ....	687
Воронокова М.А. ....	588	Григорьев Г.В. ....	29
Воронцова И.А. ....	446	Григорьев И.В. ....	349
Ворошилин А.П. ....	122, 126	Гринберг Е.М. ....	390
Воскресенская И.И. ....	370, 377	Гришин А.С. ....	449
		Громов А.Н. ....	725

Громов П.А. ....	30	Дубров Ю.С. ....	302
Громова М.С. ....	256	Дуванов Д.С. ....	454
Громьшков А.Д. ....	350	Дудков К.В. ....	217
Груммондз В.Т. ....	337	Дудочкина Д.П. ....	455
Грушин И.А. ....	371, 394, 395, 407	Дулин В.В. ....	613
Грязев А.С. ....	251, 259	Дулькина Я.А. ....	549
Губарев Н.И. ....	93	Дунаев В.А. ....	689
Гузенко А.А. ....	669	Духова М.А. ....	677
Гуков Р.Ю. ....	216	Дыбленко Ю.М. ....	258
Гуляев И.Н. ....	456, 472	Дьяков И.Г. ....	243, 248, 262
Гуняева А.Г. ....	449	Дьяконов Д.В. ....	61
Гурьев Э.Е. ....	674	Дьяконов Н.В. ....	61
Гусаркин С.Н. ....	726	Дьячков А.А. ....	218
Гусев Д.Е. ....	379, 423	Е Вин Тун ....	62
Гушан Д.Ф. ....	59	Евдокимов А.А. ....	456, 464
Давлетгареева Э.Н. ....	609	Евланов А.А. ....	689
Давыденко Л.В. ....	375	Евланова О.А. ....	696
Даняшева Н.С. ....	14	Егорова Ю.Б. ....	375, 384, 412
Демидов А.С. ....	457, 714	Елинсон В.М. ....	155, 158, 169
Демина Т.С. ....	453, 482, 490	Елисеев П.А. ....	328
Денисов Л.В. ....	276	Епанешникова И.К. ....	153, 154
Денисов М.М. ....	32	Еремеев В.В. ....	519
Денисов С.Ю. ....	180	Еремеев Н.В. ....	519
Дехтяр Д.А. ....	328	Еремина А.В. ....	611
Джаджарми М.М. ....	676	Еремкин И.В. ....	457
ДжонХе Су ....	665	Ерзиков А.М. ....	663
Дзгоев Т.Р. ....	281	Ермаков Е.И. ....	389
Дикова Д.А. ....	282	Ермакова Н.О. ....	611
Дителева А.О. ....	156	Ермилова А.И. ....	443, 458
Дмитренко В.П. ....	496, 608, 633	Ефименко А.Б. ....	30
Дмитриев А.Д. ....	610	Ефимов И.А. ....	32
Дмитриев А.С. ....	474	Ефремов А.В. ....	33
Добровольский И.С. ....	95	Ефремов Е.В. ....	329
Доброносова А.А. ....	157	Жамсуева Г.С. ....	550
Довгань Д.Ю. ....	510	Жаров М.В. ....	429, 513, 531
Догадкин Н.С. ....	511	Желтухин А.В. ....	249
Долгов О.С. ....	352, 361	Живирихин М.Л. ....	97
Долгова М.И. ....	386, 387	Жигулаев А.А. ....	612
Домарев С.И. ....	205	Жильцова Е.Н. ....	98, 100
Донецкий К.И. ....	468	Жирихин К.В. ....	350
Доронников А.Н. ....	244	Жоголев Д.А. ....	351
Дранцин А.В. ....	421	Жуков А.А. ....	172, 200, 201, 203, 273
Дробот Л.Ю. ....	452	Завгороднев Ю.В. ....	245
Дроздова М.Г. ....	453	Зайнетдинова Г.Т. ....	435
Дрокин А.А. ....	127	Закиров Э.Р. ....	128
Другашова Е.В. ....	96	Закусилев В.П. ....	625
Дружинин А.Н. ....	388	Замараев А.А. ....	459, 461

Заранкевич И.А. ....	690	Ишбулатова Г.В. ....	614
Зарипов И.Р. ....	437, 462	Кабанова Ю.А. ....	394
Зарьева А.А. ....	182	Казаков В.А. ....	238, 246, 257
Захаров М.А. ....	194	Казаков С.И. ....	234
Зеленина И.В. ....	472	Казанцев А.С. ....	285
Земляная В.А. ....	101, 112, 119	Казуров А.В. ....	445
Зенин П.Б. ....	155	Какушина Н.В. ....	466
Зиначева Т.С. ....	32	Каландаров К.И. ....	10
Зинченко Н.Н. ....	10	Калачев Н.А. ....	552
Зинчук А.А. ....	674	Калачев О.Н. ....	57, 59, 68, 82
Золотарёв А.Ю. ....	329	Калачёв О.Н. ....	76
Золотухин А.А. ....	284	Калинин Е.А. ....	184
Зотов С.А. ....	613	Калинина Д.М. ....	535
Зубакова Е.Г. ....	412	Калпина Н.Ю. ....	654
Зубрилин А.М. ....	727	Калугина Е.В. ....	443
Зуев К.В. ....	463	Кальянов А.А. ....	131
Ибатуллин В.И. ....	369	Кальянов В.Г. ....	252
Ибатуллин И.М. ....	447	Камалов А.Н. ....	447
Иванов А.А. ....	513	Карамова А.И. ....	439
Иванов В.Н. ....	514	Карапетян Т.С. ....	139, 638
Иванов Н.А. ....	535	Карасева Я.С. ....	329
Иванова А.П. ....	130	Карачёва В.С. ....	52
Иванова Т.С. ....	87, 103	Карельский А.Л. ....	64
Игнатов А.И. ....	104	Карпушин А.А. ....	186
Игнатов Д.О. ....	529	Касимцев А.В. ....	434
Игнатов М.П. ....	292	Касымова Е.А. ....	381, 398
Игнатъев А.А. ....	158	Касьянов С.В. ....	559, 576
Игумнова А.С. ....	670	Каукина А.И. ....	399
Измельцев Б. ....	14	Качалова И.В. ....	93, 130
Илиеш Д.В. ....	183	Качарова И.Н. ....	466
Ильин Е.О. ....	63	Качмар М.Б. ....	615
Ильина М.А. ....	728	Кендзя М.С. ....	488
Ильинская О.И. ....	89, 104, 106, 107, 109, 116	Киктев С.И. ....	457
Ильичев А.В. ....	464	Ким А.Э. ....	347
Ильющкин Н.А. ....	663	Ким Р.В. ....	46
Имаев Т.Ф. ....	670	Киньзякаева Р.А. ....	515
Ионов А.В. ....	735, 737	Кипин И.А. ....	536
Иосифов П.А. ....	147	Кириллин А.В. ....	122, 124, 126, 128, 132, 138
Ипатов М.С. ....	671	Кириллов Н.А. ....	590
Иргалеев И.Х. ....	33	Киселева А.П. ....	609
Иринец С.П. ....	184	Киева Л.В. ....	11
Исаев А.М. ....	668	Клейменов П.И. ....	691
Исаев А.Н. ....	301	Клесарева М.В. ....	616
Исаев Р.В. ....	691	Клименко Д.В. ....	693
Исаенкова Ю.А. ....	396	Климов Е.А. ....	12
Исхаков Р.И. ....	235	Климов Н.С. ....	263

Климчук В.С. ....	617	Корчинский В.В. ....	693
Клокова Л.А. ....	65	Коршунова Е.А. ....	553
Клюев А.О. ....	516	Костина В.С. ....	401
Клягин В.А. ....	358	Костина М.В. ....	401
Князев М.И. ....	386, 387	Костова Е.Р. ....	18
Кобелев Н.С. ....	53, 54, 56	Кострубин В.А. ....	332
Кобзев Е.А. ....	286	Костюков В.М. ....	44
Ковалевич М.В. ....	216, 224, 231	Котова О.Н. ....	620
Коваленко С.В. ....	105	Котькина Т.В. ....	250
Коваль С.В. ....	729	Коханова Ю.С. ....	657, 658
Когой Т.В. ....	208	Кошелев А.О. ....	518
Кожевников В.В. ....	712	Кошелев Д.В. ....	438
Козлов А.А. ....	688, 690, 698, 710	Краснобородько И.О. ....	519
Козлов Н.А. ....	493	Кратюк Н.А. ....	291
Козлов С.Ф. ....	702	Кривопалов Д.М. ....	190
Козлова Е.С. ....	187, 207	Кривошеин Д.А. ....	605
Козлова Н.М. ....	36	Крит Б.Л. ....	239, 241
Козлова С.О. ....	467	Крохичева П.А. ....	402
Колесников С.А. ....	476	Крузе С.В. ....	187, 197, 207
Коллеров М.Ю. ....	383, 435	Кубатина Е.П. ....	509
Колмаков С.А. ....	34	Кудасов С.В. ....	190
Колотева М.И. ....	616	Кудлова К.П. ....	554
Колотий Д.Д. ....	402, 522	Кудратов Ш.Ф. ....	403
Колтуновская М.С. ....	122, 133	Кудрявцев А.В. ....	35
Колтырина К.Ю. ....	678	Кудряшов Д.А. ....	621
Комаров Р.С. ....	517	Кузин Е.В. ....	190
Комарова М.Ю. ....	400	Кузин П.А. ....	622
Комиссарова М.Р. ....	248	Кузина А.А. ....	405, 417
Кондратьев А.В. ....	188	Кузина С.М. ....	521
Кондратюк Р.И. ....	159	Кузличенкова Е.С. ....	106
Кондрацкий И.О. ....	249	Кузнецов А.И. ....	695
Кондрашин А.А. ....	166	Кузнецов В.М. ....	354
Кондрашов В.З. ....	225, 226	Кузнецов И.Е. ....	617
Конкевич В.Ю. ....	511	Кузнецов М. ....	14
Коннов В.В. ....	287	Кузнецов С.Ю. ....	219
Коноплев А.С. ....	713	Кузнецова А.В. ....	251
Константинов И.А. ....	331	Кузнецова А.С. ....	624
Конюхов Д.А. ....	694	Кузькин В.И. ....	488
Копылов А.А. ....	350, 360	Кузьменко Т.А. ....	612
Корешков А.В. ....	288	Кузьменкова А.А. ....	555
Королёв Д.И. ....	681	Кузьмин Е.В. ....	244
Королёв Н.Н. ....	730	Кузьмин С.В. ....	376
Корольский В.В. ....	13	Куи Мин Хан ....	67
Корончик В.С. ....	618	Куко И.С. ....	404
Коротеев В.В. ....	619	Кукушкин Д.Ю. ....	156
Коротков И.А. ....	468	Куликов Д.С. ....	134
Короткова А.С. ....	188	Куликов С.Н. ....	30, 40

Кумарова А.А. ....	470	Лукьянов О.Е. ....	12
Кумбана А.Ж. ....	625	Лукьянчик А.И. ....	715, 721
Кунавин А.М. ....	731	Лысухин В.И. ....	11
Куньявская Т.М. ....	404	Львов Д.Л. ....	295
Куприк Д.А. ....	695, 696	Любатуров А.М. ....	675
Куприков Н.М. ....	352	Людин В.Б. ....	253, 268, 271
Купырев А.В. ....	556, 569	Лютлов А.Г. ....	256
Куроева Л.С. ....	520	Лямин А.Н. ....	161, 168
Курилович С.В. ....	292	Ляпунов Н.В. ....	251
Курицын Д.Н. ....	285, 293	Ляховецкий М.А. ....	728, 732, 734
Курицына В.В. ....	291, 314, 316, 324	Магсумова А.Ф. ....	447, 459, 461
Курмашева Л.Р. ....	459	Мазенков С.Е. ....	297
Курносов А.О. ....	471	Майоров И.А. ....	522
Куртаева Ф.Н. ....	414	Майрович Ю.И. ....	667
Курушин Р.А. ....	191	Макаров И.К. ....	16
Курчакова Т.В. ....	36	Маковецкий М.Б. ....	354
Кусманов С.А. ....	263	Максименко А.В. ....	629
Куц А.В. ....	405	Максимов В.К. ....	369
Куценко Г.А. ....	135	Максимова Д.С. ....	476
Кучеровский А.И. ....	472	Маликов С.Б. ...	77, 115, 299, 303, 310
Кушнарёв А.В. ....	294	Малин Р.Г. ....	192
Кушнарев Ю.А. ....	68	Малова О.В. ....	559
Лазарев Д.М. ....	252	Мальшева Г.В. ....	220, 359
Ламтюгина А.В. ....	714	Мальчугин В.Е. ....	160
Лапкина В.А. ....	136	Мамонов А.М. ....	420
Ларина К.А. ....	626	Мамонов А.С. ....	45
Лата А.Н. ....	376	Мамонов С.А. ....	32
Лашков И.А. ....	474	Мамонтова Н.А. ....	381, 424
Ле Тиен Зьонг. ....	90	Мамросенко К.А. ....	73
Лебедев А.В. ....	29	Манджиева А.Ю. ....	612
Лебедев А.К. ....	475	Мануйлова Н.Б. ....	610, 634, 653
Левицкий А.В. ....	353	Маншилин В.В. ....	406
Леонов А.В. ....	37	Марасанов Л.О. ....	560
Лепешинский И.А. ....	669	Марин Н.И. ....	560
Лесневский Л.Н. ....	728, 734	Марквичева Е.А. ....	453
Лим Е.В. ....	398, 428	Маркин Л.В. ....	62, 67
Липатов А.И. ....	403	Маркин Н.Н. ....	326, 329, 331, 332, 339, 342, 344
Липницкий Ю.М. ....	346	Марков А.В. ....	138, 491
Липунов В.А. ....	58, 585	Маркова Г.В. ....	373, 388
Лисов А.А. ....	81	Маркова Е.В. ....	391
Лисовский И.А. ....	627	Мартиросова К.И. ....	139
Лифинцева Е.В. ....	151	Мартынюк А.В. ....	278
Лозован А.А. ....	509, 510, 514, 535	Мартьянов Н.В. ....	425
Ломакина Е.А. ....	557	Марычева А.Н. ....	220
Лопяткина Ю.М. ....	628	Марьянов Д.В. ....	298
Лукашов А.А. ....	15	Маслобойчиков А.Н. ....	602
Лукиенко Л.В. ....	631		

Матвеев Ю.А. ....	703	Морозов Е.А. ....	698
Матвеевко А.М. ....	325	Морозова А.А. ....	139
Матушкин А.А. ....	709	Моторин А.О. ....	631
Матыцин А.В. ....	333	Моторыгин Д.Е. ....	334
Машковцева Р.И. ....	39	Мочалова С.М. ....	632
Медведев А.М. ....	234	Мошков П.А. ....	672
Медведева Е.В. ....	697	Мукаева В.Р. ....	256, 266
Меденкова О.С. ....	69, 562	Мун С.И. ....	108
Мезенцев С.Е. ....	355	Муравьев А. ....	14
Мелемчук И.А. ....	266, 270	Мурадян С.О. ....	401
Мелихов В.В. ....	253, 268, 271	Муратаев А.Ф. ....	385, 408
Мельник А.А. ....	563	Муратаев Ф.И. ....	385, 408
Мельников Д.А. ....	471	Мурин Д.А. ....	633
Мельничук В.Н. ....	148	Мусаев С.Д. ....	395, 409
Меньшиков Г.А. ....	506	Мухамедьяров Р.Р. ....	668
Мерзляков Р.Д. ....	254	Мухаметшина Е.С. ....	599
Мерзлякова В.А. ....	254	Мхитарян Г.А. ....	70
Меркулов А.Л. ....	406	Надирадзе А.Б. ....	720
Мессинева Е.М. ....	626, 645, 646, 655	Назаренко Н.А. ....	34
Метельников А.А. ....	716	Назырова О.Р. ....	727, 733
Метечко Л.Б. ....	589, 612	Найденев Д.Д. ....	300
Мешков Д.А. ....	523	Найченко М.В. ....	23
Мещеряков Д.В. ....	660	Нарижный А.А. ....	708
Мийченко И.П. ....	485	Насонов Ф.А. ....	478
Микаилова С.М. ....	477	Науменков А.А. ....	634
Митрофанов А.В. ....	222	Наумов А.В. ....	70
Митрохин А.С. ....	500	Нейперт Т.А. ....	224
Митрохов Н.В. ....	660	Нестеренко В.В. ....	670
Михайлов В.А. ....	620	Нестеренко В.Г. ....	90, 670, 675
Михайлов Л.И. ....	356	Нестерович Т.Б. ....	25, 562, 618
Михайлов М.В. ....	194	Нечаев Л.М. ....	419
Михалдыкин Е.С. ....	464	Нечаев Р.А. ....	161
Мишкин С.И. ....	456	Никитин А.Д. ....	367
Могильная Т.Ю. ....	174, 179, 182	Никитин П.В. ....	336, 363
Можаров В.А. ....	195, 206	Никитин С.А. ....	195
Можегова Ю.Н. ....	528	Никитина Е.В. ....	498, 518
Моисеев В.С. ....	522, 529	Никитченко Ю.А. ....	341
Моисеев Н.Ю. ....	299	Николаев И.А. ....	734
Молодницкий В.И. ....	177, 192, 199	Никонов А.Н. ....	524
Молчанов А.С. ....	694	Никуленко А.А. ....	360
Монахова В.П. ....	727, 730	Ниязов Р.В. ....	480
Моргачев О.А. ....	107	Новиков В.А. ....	196
Моргуль А.С. ....	407	Новиков Г.В. ....	481
Моргунов Ю.А. ....	250	Новиков Н.А. ....	202
Морев А.О. ....	589	Новиков С.Л. ....	107
Морковкин А.И. ....	237	Новиков С.Н. ....	657, 666
Морозов В.А. ....	141, 223	Носов В.К. ....	389

Носов М.В. ....	171	Пивоваров Д.Е. ....	71
Нягулов М.Р. ....	595, 636	Пикалов В.П. ....	708
Овчинников А.В. ....	431	Пискарев А.С. ....	307
Овчинников М.А. ....	257	Пичулин В.С. ....	598
Огородникова О.М. ....	72	Платонов И.М. ....	336
Огородничий Д.В. ....	301	Погорелая Е.С. ....	638
Одинокоев С.А. ....	540, 552, 554, 557, 567, 580, 584	Подъяпольская Е.В. ....	480
Олейник А.В. ....	258	Пожога В.А. ....	415, 426
Онищук И.И. ....	664, 665	Поздняк Ю.С. ....	566
Опадчий Ю.Ф. ....	84	Показанев М.В. ....	72
Опрышко Н.В. ....	560	Полищук М.В. ....	337
Орлов А.А. ....	410, 430	Поляков А.В. ....	639
Орлов Г.З. ....	637	Поляков О.А. ....	489
Осаченко М.Д. ....	302	Полякова К.С. ....	414
Осинцев О.Е. ....	427	Полянский М.Н. ....	261
Осипов А.В. ....	673	Пономарев В.П. ....	26
Павлов А.И. ....	100	Поняева Т.А. ....	681
Павлов А.С. ....	564	Попов Г.М. ....	94
Падерно П.И. ....	37	Попова Е. ....	640
Палтиевич А.Р. ....	502	Попова О.М. ....	18
Пальвинская Т.С. ....	303	Попова Т.В. ....	304
Пан А.С. ....	525	Порицкая А.Ю. ....	482
Панина М.А. ....	565	Поспелов А.Р. ....	109
Панфилова Е.В. ....	157	Приоров В.Д. ....	40
Папенков Ю.Г. ....	197	Приставка А.М. ....	162
Парамзина В.В. ....	607	Прокофьев Е.Ю. ....	286
Парджандзе И.В. ....	198	Прокофьева Н.С. ....	567
Парфенов Е.В. ....	235, 252, 256	Прокудин А.В. ....	199
Парфенов Н.И. ....	411	Прохновский М.В. ....	452
Пархаев Е.С. ....	335	Пряхина Е.М. ....	528
Патрушев А.Ю. ....	526	Пугачев Ю.Н. ....	354
Пеев А.П. ....	244	Пустынников М.В. ....	273
Перванюк А.С. ....	123, 136, 149	Пушкарёв Д.С. ....	699
Первов М.Л. ....	507	Пушкин К.В. ....	717
Перевозова Е.А. ....	412	Пчелинцева В.Д. ....	568
Петрашев В.А. ....	144	Пыхтин А.А. ....	477, 483
Петрина А.Н. ....	17	Пыщечкин Н.А. ....	279
Петров А.А. ....	377, 386	Пье Пху Маунг. ....	359
Петров А.П. ....	499, 519, 525	Равикович Ю.А. ....	697
Петров В.А. ....	606	Радин Д.В. ....	94
Петров И.А. ....	358, 527, 534	Раскутин А.Е. ....	456, 471
Петрова М.Ю. ....	458	Расторгуев И.П. ....	615, 629
Петрунина Е.С. ....	461	Ратбиль Е.Э. ....	425
Петухов С.Л. ....	300	Резаев М.В. ....	226
Петухова О.С. ....	382	Ревант Редди Аббаварам. ....	90
Пешехонов С.В. ....	225	Редозубов А.В. ....	306
		Резниченко Г.М. ....	486

Ремизов А.Е.....	97
Ремчуков С.С.....	110
Решетников В.Н.....	73
Ридзель О.Ю.....	259
Рогов А.А.....	200
Родионов Я.В.....	111
Родителей А.В.....	73
Родичев А.И.....	186, 191
Розин И.В.....	360
Романов М.А.....	339
Романько В.В.....	163
Романюк Н.Л.....	569
Ромашова В.В.....	416
Роменский Н.А.....	140
Россоловский И.А.....	112
Ротмистрова Е.Е.....	485
Рубжанская А.В.....	596
Рубцов И.А.....	486
Руденко Д.С.....	360
Рудневская Е.В.....	141
Румянцев В.В.....	79
Русакова Е.О.....	418
Русин И.С.....	419
Ручина Н.В.....	392
Ручкина В.С.....	417
Рыбалко А.А.....	70
Рыбинский Б.В.....	125
Рыжова И.М.....	18
Рябов А.Н.....	736
Ряховский А.П.....	527, 537
Саба Акбари.....	165
Сабирова С.А.....	571
Савельев В.П.....	113
Савельев И.И.....	182
Савельева М.А.....	641
Савин Д.В.....	445
Савушкина С.В.....	261
Савченко П.Д.....	590, 619
Сагитов Г.М.....	200, 201, 203
Сагитова Е.А.....	245
Сажин А.Н.....	229, 356
Сайфутдинова А.А.....	487
Сайфутдинова М.С.....	379, 423
Сакова М.О.....	642
Салиба М.И.....	361
Салиенко Н.В.....	467, 481
Салтыков С.Н.....	16
Сальников В.С.....	264
Самарцева А.П.....	9, 13
Самойленко В.В.....	398
Самсонов И.В.....	41
Самсонов О.С.....	17, 19
Санов А.В.....	421
Сапрыкин Е.Н.....	643
Сарайнов Н.Е.....	227
Саруханян М.Г.....	433
Сатарин И.А.....	433
Саутенков М.Е.....	19
Сафарбаков А.М.....	667
Сафарян А.И.....	420
Сашина А.А.....	202
Светличный В.С.....	75
Свиридова Е.Ю.....	640
Свистунов Р.Д.....	267
Севостьянов С.Я.....	351
Севостьянова В.С.....	262
Севрук С.Д.....	717
Селиверстов С.Д.....	735, 737
Селявсинов Г.Б.....	488
Семенов В.В.....	643, 700, 701
Семенов В.И.....	699
Семенов Г.Е.....	65, 75
Семёнова О.В.....	606
Семенчиков Н.В.....	326, 335, 340
Семина Е.Н.....	699
Семина О.С.....	699
Сергеенко Д.Д.....	572
Сержантова Г.В.....	399
Серов М.М.....	501, 526, 537
Сивцов В.А.....	609
Сиднев Д.В.....	489
Сидоренко Н.С.....	700
Сидоров С.А.....	166
Сидорова Н.К.....	263
Сидху Д.С.С.....	701
Сизов А.А.....	644
Сизонец Ю.В.....	115
Силуянова М.В.....	108, 113, 117, 118, 281, 282, 284, 287, 304, 311, 317, 320, 323, 355, 396, 704
Сильницкая О.А.....	158
Синюгин А.А.....	307
Скворцова С.В.....	381, 392, 393, 394, 415, 426

Скиданов С.Н. ....	347, 726	Строкач Е.А. ....	702
Скрябнев Г.В. ....	442	Стручалин М.А. ....	681
Слепцов В.В. ....	159, 160, 163	Суворов М.О. ....	719
Слободяник А.С. ....	736	Судас С.А. ....	310
Смахтин А.П. ....	713	Судуков А.Э. ....	645
Смертин В.И. ....	371	Судьин Д.Н. ....	311
Сметанина Н.А. ....	338	Сумин С.А. ....	532
Смирнов А.А. ....	180, 263	Суриков П.В. ....	454, 477, 483
Смирнов В.Т. ....	339	Суриков С.Ю. ....	76
Смирнов Н.Я. ....	28	Сухорончак Б.П. ....	228
Смирнов П.Е. ....	718	Сыроватников Н.А. ....	325
Смирнова А.А. ....	594	Сыромятников Д.А. ....	302
Смирнова А.С. ....	425	Сычев И.Ю. ....	347
Смолкин Р.М. ....	437, 462	Та Суан Тунг. ....	340
Смыков А.Ф. ....	520	Тажетдинов И.Р. ....	339
Смыслова М.К. ....	258	Такмовцев В.В. ....	663
Снегирев А.О. ....	371	Талалаев П.А. ....	77
Соболев А.А. ....	142, 681	Тамбовский И.В. ....	267
Соболев А.Г. ....	505	Таратоний И.А. ....	41
Соколов А.В. ....	515	Тармосин И.С. ....	312
Соколов И.И. ....	471	Тартачная Д.С. ....	201, 203
Соколов Н.С. ....	116	Татарникова В.В. ....	646
Соколов С.В. ....	264	Тахаева Д.А. ....	574
Соколова Е.С. ....	554	Тахсин А. Саки ....	491
Соколова Н.Ю. ....	143	Телеш А.В. ....	223, 533
Соловьев Н.Г. ....	272	Телицына О.В. ....	516
Соловьева И.В. ....	375	Терентьев А.А. ....	666
Соловьева Я.Ю. ....	69, 562	Теряев Д.А. ....	738
Солодова Т.В. ....	265	Тимушев С.Ф. ....	693
Сон Джин Ву. ....	309	Типалин С.А. ....	214, 215
Сотникова Е.В. ....	587, 624	Титов С.А. ....	466
Сотникова Ю.С. ....	490	Титов Ю.П. ....	41
Сперанский К.А. ....	387, 395	Тихонов С.А. ....	254, 274
Спирякин Д.Н. ....	165, 167	Тихонова И.В. ....	368, 400
Стариков А.В. ....	54	Тихоновец А.В. ....	341
Стариков П.А. ....	735, 737	Токарева Е.В. ....	491
Староверов Ю.С. ....	241	Токмакова Е.Н. ....	303
Стародумова И.М. ....	282	Токмакова Т.В. ....	303
Степанов А.А. ....	573	Токметова К.В. ....	575
Степанов В.В. ....	523, 524	Токталиев П.Д. ....	88
Степанюк С.О. ....	682	Толоконников Д.В. ....	145
Степин С.С. ....	605	Толстов С.В. ....	146
Степынин С.С. ....	402, 529	Томашевич А.М. ....	313
Стоцкий А.Г. ....	266, 270	Топорков В.С. ....	314
Стрижов Д.А. ....	513, 531	Торпачев А.В. ....	143, 145, 150, 151
Строганов И.О. ....	144	Третьяков Е.А. ....	229
Строгонова Л.Б. ....	616	Триадский Н.Н. ....	726

Трунова Е.А. ....	24, 30, 35, 43	Хавпачев М.А. ....	494
Трутнев Н.С. ....	230	Халитова А.Т. ....	162
Трушин Н.Н. ....	706	Харитонов А.С. ....	706
Туев Д.В. ....	572	Хартов С.А. ....	718, 719
Тунгулуков Ф.А. ....	244, 376	Харченко И.В. ....	535
Турицын М.И. ....	42	Харченко Р.В. ....	680
Тутов М.А. ....	147, 149	Харьковский И.С. ....	205
Тутуров А.А. ....	703	Хаустов А.И. ....	606
Тяглик М.С. ....	30	Хафизов В.А. ....	461
Угринович С.Б. ....	647	Хахулин Г.Ф. ....	41
Умарова О.З. ....	426	Хваатов Е.В. ....	536
Умеренков Д.Д. ....	20	Ховрина К.А. ....	231
Умпиерре Э.Э. ....	169	Холяков А.Е. ....	648
Унянин А.Н. ....	227	Хомовский Я.Н. ....	457
Урнов С.В. ....	720	Хомутская О.В. ....	206
Устинов А.А. ....	493	Хопин П.Н. ....	277, 294, 298, 306
Устинова М.И. ....	56	Хорохордина Ю.А. ....	78
Ухов П.А. ....	539	Храпов А.О. ....	43
Ушакова О.Б. ....	458	Хромов А.С. ....	707
Фарафонова Ю.С. ....	78	Хромова И.В. ....	636
Фаррахов Р.Г. ....	270	Худякова Е.С. ....	578
Фаткуллин А.Р. ....	252	Хусаинова О.С. ....	649
Фаттахова Г.Р. ....	576	Хуцишвили Н.Д. ....	326
Фатхиева Р.А. ....	438	Царапкин Р.А. ....	708
Федичкин И.Д. ....	253, 268, 271	Цветкова Е.В. ....	79
Федоров А.А. ....	517	Пырков А.В. ....	215
Федоров С.А. ....	523, 524	Чадаева Ч.В. ....	644
Федорова Л.В. ....	265	Чалых А.Е. ....	455, 466
Федорцов Р.С. ....	534	Чверткин А.Г. ....	596, 600, 611
Федотикова М.В. ....	201, 203	Чвёрткин А.Г. ....	607, 621, 628, 637, 642
Фертиков А.О. ....	117	Челебян О.Г. ....	317
Фетисов А.Г. ....	594, 601, 647	Чемодуров В.А. ....	483
Фетисова Н.Л. ....	25	Чепрасова И.А. ....	567
Фигаровская Н.В. ....	344	Черевко А.И. ....	651
Филимонова Т.В. ....	230	Черевко В.С. ....	195
Филиппов В.В. ....	242	Черкасов А.Н. ....	668
Филякова В.А. ....	412	Чернейкина Я.В. ....	266, 270
Финогенов С.Л. ....	703	Черников А.А. ....	709
Фирсов Л.Л. ....	364	Черникова Е.А. ....	342
Фомин А.Ю. ....	316	Черноглазова А.В. ....	480
Фомичев И.М. ....	178	Черный И.А. ....	712
Фомичева Н.Б. ....	378, 411	Чернышева С.А. ....	81
Фонг Тхань Ку ....	167	Чернышова А.А. ....	394
Фролов А.А. ....	704	Черфас Л.В. ....	449
Фролов В.А. ....	223, 533	Четверикова А.В. ....	82
Фролов Л.А. ....	148	Чибисова Е.В. ....	384, 412
Фурсов А.А. ....	313	Чиликин В.М. ....	318

Чинь В.Т. ....	44	Шмаков И.В. ....	322
Чистова А.С. ....	45	Шмырова А.В. ....	384
Чичиндаев А.В. ....	595	Шоль Д.Е. ....	682
Чичинова Э.В. ....	579	Шпагин В.П. ....	323
Чубуков А.И. ....	385, 408	Шпунькин Н.Ф. ....	218
Чудина Ю.С. ....	691, 710	Штель И.О. ....	495
Чудинов Д.Б. ....	253, 268, 271	Шубин Т.К. ....	439
Чулков М.В. ....	345	Шулов В.А. ....	725, 738
Чумадин А.С. ....	232	Шульгин Д.А. ....	83, 84
Чупятов Н.Н. ....	514	Шульженко Д.А. ....	675
Чурсова Л.В. ....	449	Шумова М.Ю. ....	346
Шалин А.В. ....	393	Шустров Т.Л. ....	496
Шангин И.А. ....	648	Щербакова Г.И. ....	441
Шандрук В.С. ....	21	Щербина А.А. ....	440
Шапагин А.В. ....	466	Щиголов А.А. ....	684
Шаповалов Р.В. ....	121, 131, 148	Щугорев Ю.Ю. ....	406
Шарапкин Д.С. ....	426	Щур П.А. ....	158, 169
Шарапов И.А. ....	187, 207	Эминов А.Г. ....	324
Шардин А.О. ....	365	Эпельфельд А.В. ....	249
Шароди М.А. ....	425	Юдаев С.В. ....	407, 424
Шаронов Ф.А. ....	383	Юдин Г.В. ....	10, 20
Шатрун Е.А. ....	407, 424	Юдин С.Н. ....	434
Шафеева О.П. ....	48, 64	Юргенсон С.А. ....	364, 572
Шахривар Сахар М. ....	683	Юрин В.Н. ....	295, 322
Швед Ю.В. ....	345	Юркин Ю.Ю. ....	150
Шведов А.В. ....	168	Юрьев К.В. ....	83, 84
Шевченко М.А. ....	653	Юстус А.А. ....	365
Шевчик А.П. ....	113, 118	Юсупов А.А. ....	684
Шемонаева Е.С. ....	209, 228, 232	Юсупова И.А. ....	119
Шергин А.А. ....	459	Юшкова А.В. ....	589
Шерстнева А.С. ....	319	Юшкова А.И. ....	581
Шерьшев А.Е. ....	24	Ягудин Г.Т. ....	428
Шигапов Р.Р. ....	658, 666	Ягудин Т.Г. ....	382, 398, 402, 425, 428, 433
Шилов А.О. ....	272	Ядгарова В.И. ....	433
Шилова А.Д. ....	654	Якименко В.А. ....	46
Шильникова Е.В. ....	580	Якимов М.Ю. ....	272
Шиляев А.С. ....	273	Якимочева Е.Д. ....	548, 568, 583
Шимчишин А.С. ....	229	Яковлева С.Ю. ....	661
Широкова В.И. ....	208	Якушев Д.А. ....	574, 584
Ширшов А.С. ....	274	Ямалиева Р.А. ....	576
Шишкин А.А. ....	230	Янишевская А.Г. ....	61
Шишкин В.А. ....	147, 149	Ярмаш А.Д. ....	664
Шишко А.Ю. ....	234	Яровая М.Н. ....	641
Шишков В.А. ....	320	Ярославцев Н.Л. ....	86, 110, 111, 297
Школьников В.М. ....	175	Ярошенко А.С. ....	537
Шкуратенко А.А. ....	363	Ярцева А.Ю. ....	655
Шлёнский А.Г. ....	532	Ячменев П.С. ....	715, 721
Шляпин С.Д. ....	410, 430		
Шляпцева А.Д. ....	527, 537		

ISBN 978-5-90363-069-1



*Научное издание*

**Гагаринские чтения – 2016**  
**XLII Международная научная молодёжная конференция**

Сборник тезисов докладов конференции

Том 3

Контакты:

*Некрасова Раиса Галеевна*  
+7 499 158-16-97

*Долгова Маргарита Игоревна*  
+7 499 141-95-01

[gagarin.mai@gmail.com](mailto:gagarin.mai@gmail.com)  
[www.mai.ru/conf/gagarin/](http://www.mai.ru/conf/gagarin/)

Оформление обложки:  
*И.Я. Волкова*

Вёрстка:  
*М.И. Бартнев,*  
*Р.Г. Некрасова*

Гигиенический сертификат № 515204 от 28.06.2014

Подписано в печать 30.03.2016

Формат 60х90 1/16

Гарнитура Times New Roman

Печать цифровая. Усл. печ. л. 47

Тираж 335 экз.

Отпечатано с готового оригинал-макета  
в издательстве «Каллиграф»