

**Определение статистического
компенсационного запаса топлива
для флота «Боинг-777»
на фиксированных маршрутах**

К. А. КУЦ,
аспирант,
Г. В. КОВАЛЕНКО,
д-р техн. наук
(СПб ГУГА,
Санкт-Петербург)
pilotkuts@ya.ru

Разработан метод определения статистического запаса топлива на случай непредвиденных обстоятельств для объектов «тип дальнемагистрального самолета – фиксированный маршрут». Численно определены значения компенсационного запаса топлива за период 2016–2018 гг. для флота однотипных «Боинг-777» на регулярных рейсах Москва – Хабаровск и Москва – Южно-Сахалинск.

Статистический компенсационный запас топлива, топливная эффективность, фактор деградации

**Boeing-777 Fleet Statistical Contingency
Fuel Determination on Fixed Routes**

K. A. KUTS AND G. V. KOVALENKO

Saint-Petersburg State University of Civil Aviation, St. Petersburg

The statistical contingency fuel determination method was developed for the objects “long-range aircraft type-fixed route”. The statistical contingency fuel reserve is numerically determined for the period of 2016–2018 years for the Boeing 777 type fleet on the scheduled flights Moscow–Khabarovsk and Moscow–Yuzhno-Sakhalinsk.

Statistical contingency fuel, fuel efficiency, degradation factor

Некоторые особенности организации производства и нормирования труда в гибких производственных системах

И.Г. МАРДАМШИН
(ПАО «КВЗ», Казань),
И.Ш. ШАРАФЕЕВ,
д-р техн. наук,
Г.Ф. МИНГАЛЕЕВ,
д-р экон. наук
(КНИТУ-КАИ, Казань)
IShSharafeev@kai.ru

Показаны особенности организации производства и нормирования труда для гибких производственных систем в организационно-технических условиях гибкого автоматизированного участка. Сформулированы правила оптимальной организации производства в условиях гибкого автоматизированного участка, разграничивающих функционалы оператора станков с ЧПУ, транспортного робота, автоматизированного склада-стеллажа, станка с ЧПУ.

Гибкие производственные системы, гибкие автоматизированные участки, гибкие производственные комплексы, нормирование работ в гибких автоматизированных участках, трудоемкость операций в гибких автоматизированных участках

Some Features of the Industrial Engineering and Labor Rating in Flexible Manufacturing Systems

I.G. MARDAMSHIN¹, I.SH. SHARAFEEV², AND G.F. MINGALEEV²

¹ Kazan Helicopters PJSC, Kazan

² Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

The paper describes features of the industrial engineering and labor rating for flexible manufacturing systems in the flexible automated cell. The paper formulates the rules for the optimal industrial engineering in a flexible automated cell, which delimit the functionality of a CNC machine operator, a transport robot, automated rack storage, and a CNC machine.

Flexible manufacturing systems, flexible automated cells, flexible manufacturing complexes, rationing of work in flexible automated cells, labor intensity of operations in flexible automated cells

С.А. МАТВЕЕВ,
канд. техн. наук
(БГТУ «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова,
Санкт-Петербург),
Н.А. ТЕСТОЕДОВ,
д-р техн. наук,
чл.-корр. РАН
(«ИСС»
им. акад. М.Ф. Решетнёва,
Железнодорожск),
А.В. ГОРБУНОВ,
А.С. САБЛИН
(БГТУ «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова,
Санкт-Петербург)
anugos@yandex.ru

Междисциплинарный анализ переходных процессов, протекающих при тепловых нагрузках в электронасосном агрегате замкнутой жидкостной системы терморегулирования космического аппарата

Рассматривается электронасосный агрегат системы терморегулирования космического аппарата. Целью работы является создание имитационной модели, позволяющей производить анализ распределения температурных полей и напряженно-деформированного состояния в конструкции электронасоса. Исследуется влияние конструкционных материалов на характер протекания переходных процессов при изменении температуры теплоносителя в системе.

Электронасос, космический аппарат, система терморегулирования, вычислительная гидродинамика, метод конечных элементов, тепловой анализ

Interdisciplinary Analysis of Transient Processes in the Electric Pump Unit of the Liquid Thermal Control System of the Spacecraft

S.A. MATVEEV¹, N.A. TESTOEDOV², A.V. GORBUNOV¹, AND A.S. SABLIN¹

¹ Baltic State Technical University “Voenmeh”, St. Petersburg

² Reshetnev AO ISS, Zheleznogorsk

The paper considers an electric pump unit of the spacecraft thermal control system. The aim of the work is to create a simulation model, which allows analyzing the distribution of temperature fields and the stress-strain state in the electric pump structure. The influence of structural materials on the transient behavior is also investigated for the changing the heat transfer agent temperature in the system.

Electric pump, spacecraft, thermal control system, computational fluid dynamics, finite element method, thermal analysis

Логистическое прогнозирование обеспечения заправки азотом летательных аппаратов авиаподразделений в мирное и военное время

В.И. РЯЖСКИХ,
д-р техн. наук,
В.А. СУМИН,
канд. физ.-мат. наук
(ВУНЦ ВВС «ВВА»,
Воронеж)
vsum@rambler.ru

Представлена имитационная модель обеспечения азотом самолетов в рамках реалистичных сценариев. Методом наименьших квадратов получены регрессионные соотношения для описания логистического прогнозирования обеспеченности азотом аэродрома. Проведена оценка среднего объема резервного хранилища, необходимого для удовлетворения потребностей аэродрома при условии работы одной воздуходелительной установки и различных режимах летной напряженности.

Воздухоразделительная установка, логистическое прогнозирование, криогенные жидкости, имитационное моделирование, метод Монте-Карло

Logistic Forecasting of Aircraft Nitrogen-Charging Service of Air Units in Peacetime and Wartime

V.I. RYAZHSEKIKH AND V.A. SUMIN

Russian Air Force Military Educational and Scientific Center "Air Force Academy", Voronezh

The analysis tools for the process of nitrogen aircraft supplying under various modes of flight intensity as a part of realistic scenarios is developed and substantiated by the methods of simulation models. Regression relations are proposed by the least squares to describe the logistic forecasting of the aerodrome nitrogen supply. A volume of backup storage is determined that is capable to meet the airfield requirements and for how long in the case of one air separation plant operation and various average values of departing aircraft.

Air separation plant, logistic forecasting, cryogenic liquids, simulation modeling, Monte-Carlo method

А.А. УХОВ,
д-р техн. наук
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,
Санкт-Петербург),

М.П. БУЛАТ,
канд. техн. наук,

И.А. ВОЛОБУЕВ
(БГТУ «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова,
Санкт-Петербург),

С.В. ШАПОВАЛОВ,
аспирант,

Р.В. ЛИ,
аспирант

(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,
Санкт-Петербург)
volobuev_ig@mail.ru

Система беспроводной передачи энергии для питания бортовой аппаратуры летательного аппарата

Рассмотрена проблема создания системы беспроводной передачи энергии для авиационной техники, обеспечивающей питание бортовой аппаратуры мощностью не менее 30 Вт в соответствии с планируемым обновлением стандарта Qi. Изготовлен опытный образец системы беспроводной передачи энергии для авиационной техники, устойчивый к внешним воздействующим факторам. Проведены численные расчеты нагрузочной способности системы беспроводной передачи энергии.

Беспроводная передача энергии, катушки индуктивности, системы сбора энергии, летательный аппарат

Wireless Power Transmission System for Powering Onboard Equipment of an Aircraft

A.A. UKHOV¹, M.P. BULAT², I.A. VOLOBUEV², S.V. SHAPOVALOV¹, AND R.V. LI¹

¹ Saint Petersburg State Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg

² Baltic State Technical University "Voenmeh", St. Petersburg

The problem of creating a wireless power transmission system for aviation technology, providing power to onboard equipment with a power of at least 30 W in accordance with the planned update of the Qi standard, is considered. A prototype of a wireless power transmission system for aviation technology, which is resistant to external influences, was made. Numerical calculations of the load capacity of the wireless power transmission system are carried out.

Wireless power transmission, inductors, energy harvesting systems, aircraft

С.Ю. ДУДНИКОВ,
канд. физ.-мат. наук,
П.Н. КУЗНЕЦОВ,
канд. техн. наук
(Севастопольский
государственный
университет,
Севастополь),
А.И. МЕЛЬНИКОВА,
аспирант,
Л.О. ВОКИН,
аспирант
(БГТУ «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова,
Санкт-Петербург;
Севастопольский
государственный
университет,
Севастополь)
angelika044@gmail.com

**Моделирование течений
при малых числах Рейнольдса
применительно к проектированию
несущих аэродинамических поверхностей
беспилотных летательных аппаратов**

Исследуется применимость различных моделей турбулентности для точного моделирования задач проектирования несущих аэродинамических поверхностей транспортных беспилотных воздушных судов безаэродромного базирования. Численные результаты сравниваются с экспериментальными данными, полученными в результате исследования секции аэродинамического профиля на воздушном стенде.

Модели турбулентности, ламинарно-турбулентный переход, отрыв потока, пограничный слой, профиль крыла, численное моделирование

**Simulation of Flows at Low Reynolds Numbers
as Applied to the Design of Aerodynamic Surfaces
for Unmanned Aerial Vehicles**

S.YU. DUDNIKOV¹, P.N. KUZNETSOV¹, A.I. MELNIKOVA^{1,2}, AND L.O. VOKIN^{1,2}

¹ Sevastopol State University, Sevastopol

² Baltic State Technical University "Voenmeh", St. Petersburg

The paper investigates the applicability of various turbulence models for accurate modeling the aerodynamic surface design of unmanned aerodromeless transport aircraft. The numerical results are compared with the experimental data obtained as a result of the study of the airfoil section on an air test bench.

Turbulence models, laminar-turbulent transition, separation bubble, boundary layer, wing airfoil, numerical simulation

Л.П. ШАБАЛИН,

канд. техн. наук,

В.И. ХАЛИУЛИН,

д-р техн. наук

(КНИТУ-КАИ, Казань),

А.Н. ШАНЫГИН,

канд. техн. наук

(ФГУП «ЦАГИ»

им. проф. Н.Е. Жуковского,

Жуковский),

В.В. БАТРАКОВ,

канд. техн. наук

(КНИТУ-КАИ, Казань)

pla.kai@mail.ru

Расчет напряженно-деформированного состояния и конструктивных параметров композитных трубчатых элементов с криволинейной осью

Рассматривается расчетно-экспериментальная методика определения напряженно-деформированного состояния и выбора рациональных конструктивных параметров для элементов трубчатых конструкций с криволинейной осью, выполненных из композитов. Разработана конечно-элементная расчетная модель. Представлены результаты прочностных расчетов и сопоставление характеристик изогнутых труб из различных материалов при разных схемах армирования.

Криволинейные трубы, композиты, конечно-элементный расчет, схемы армирования, калибровка расчетных моделей

Curved Composite Tubes: Stress-Strain Behavior Analysis and Design

L.P. SHABALIN¹, V.I. KHALIULIN¹, A.N. SHANYGIN², AND V.V. BATRAKOV¹

¹ Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

² Central Aerohydrodynamic Institute, Zhukovsky

This paper studies a computational and experimental technique for stress-strain analysis and selection of efficient design for composite curved tubes. A finite element-based design model is developed. The paper presents the strength calculation results as well as compares the properties of curved tubes with different reinforcement patterns produced from various materials.

Curved tubes, composites, finite element-based design, reinforcement patterns, calibration of design models

**Математическая модель посадки вертолета
одновинтовой схемы с колесным шасси
в стандартных условиях и особых случаях**

М.М. КРУЧИНИН,
канд. техн. наук,
(АО «НЦВ им. М.Л. Миля
и Н.И. Камова»,
Томилино,
Московская обл.),
Б.Л. АРТАМОНОВ,
канд. техн. наук
(МАИ, Москва)
abl-6124554@yandex.ru

Изложены основные положения методики расчета посадки вертолета на трехстоечном колесном шасси, учитывающей все необходимые конструктивные особенности данного типа шасси и особенности работы несущего винта вблизи поверхности земли. Представлено сравнение расчетных исследований с экспериментальными данными, полученными при летных испытаниях вертолета Ми-38.

Вертолет, колесное шасси, несущий винт, математическое моделирование, посадка, динамические нагрузки, напряжения

**Mathematical Model of a Single-Rotor Wheeled Helicopter
Landing in Standard Conditions and Special Cases**

M.M. KRUCHININ¹ AND B.L. ARTAMONOV²

¹ National Helicopter Center Mil & Kamov, Tomilino, Moscow region

² Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

The main provisions of the methodology for calculating the landing of a helicopter on a tricycle landing gear are presented, taking into account all the design features of this type of landing gear and the peculiarities of the main rotor operation near the earth's surface. The comparison of computational studies with experimental data obtained during flight tests of the Mi-38 helicopter is presented.

Helicopter, wheeled landing gear, main rotor, math modeling, landing, dynamic loads, stress

Trajectory Tracking Controller for a Birotor Coaxial Unmanned Aerial Vehicle Using Nonlinear Continuous-Time Generalized Predictive Control Combined to the PI-Observer

NKOUAGNOU CALIN JOEL,

PhD student,

HAMAN DJALO,

associate professor

(University of Ngaoundere,

Cameroon),

KENFACK JIOSTA

AURELIEN,

associate professor

(University of Yaounde,

Cameroon)

joelnkouagnou@yahoo.com

Technological advances have recently contributed to the development of small size unmanned aerial vehicles. However, their small aerial engines are considerably sensible to disturbances, which come from wind, sounds vibrations or other waves. As a matter of fact, it is very difficult to design a command law for these types of unmanned aerial vehicles because they exhibit nonlinear dynamics. Many types of linear commands exist but are not reliable especially when the system is far from its equilibrium position. Despite the fact that nonlinear controls are adequate, they are not precise when the system is subjected to disturbances. This paper proposes a theoretical study of the response of a coaxial birotor unmanned aerial vehicle dynamics to a robust control technique coupled to the proportional integral observer. Theoretically, the control law is obtained by nonlinear continuous-time generalized predictive control technique. The robustness of the control obtained is improved by associating it with a proportional integral observer. Simulation results show the benefits of the control law obtained to realize trajectory tracking.

Predictive control, PI-observer, prediction horizon, coaxial birotor

П.В. ДЕНИСЕНКО,

д-р филос.

по прикладной математике

(Университет Уорик,

Ковентри, Великобритания;

Севастопольский

государственный

университет,

Севастополь),

П.В. БУЛАТ,

д-р физ.-мат. наук,

канд. экон. наук,

П.С. ЧЕРНЫШОВ,

аспирант

(БГТУ «ВОЕНМЕХ»

им. Д.Ф. Устинова,

Санкт-Петербург;

Севастопольский

государственный

университет,

Севастополь),

К.Н. ВОЛКОВ,

д-р физ.-мат. наук

(Кингстонский

университет, Лондон,

Великобритания)

Аэроакустические характеристики винтокольцевого движителя квадрокоптера на режиме вертикального взлета и посадки

Для определения аэроакустических характеристик квадрокоптера проводится моделирование крупных вихрей турбулентного течения, индуцированного четырехлопастным винтокольцевым движителем. Для расчета акустического шума в дальнем поле применяется метод акустической аналогии, основанный на интегрировании уравнения Фокса Уилльямса – Хокингса. Выполняется спектральный анализ акустического шума, создаваемого винтокольцевым движителем, а также строятся диаграммы направленности акустического излучения для различных скоростей вращения ротора, моделирующих режимы вертикального взлета и посадки.

Квадрокоптер, винтокольцевой движитель, численное моделирование, аэроакустика, диаграмма направленности, вихререзающее моделирование

Aeroacoustic Characteristics of the Quadcopter Propulsion System in Vertical Take off and Landing Mode

P.V. DENISENKO^{1,3}, P.V. BULAT^{2,3}, P.S. CHERNYSHOV^{2,3}, AND K.N. VOLKOV⁴

¹ University of Warwick, Coventry, UK

² Baltic State Technical University “Voenmeh”, St. Petersburg

³ Sevastopol State University, Sevastopol

⁴ Kingston University, London, UK

To determine the aeroacoustic characteristics of a quadcopter, large eddies of turbulent flow induced by an impeller are simulated. To calculate the far field acoustic noise, the acoustic analogy method is used, which is based on the integration of the Ffowcs Williams–Hawkings equation. Spectral analysis of the acoustic noise generated by the impeller is performed. Acoustic radiation patterns are plotted for different rotor speeds, which simulate vertical takeoff and landing modes.

Quadcopter, impeller, numerical modeling, aeroacoustics, radiation pattern, eddy-resolution modeling

Применение методов математической оптимизации для проектирования аэродинамического профиля с учетом вязкости

Н.В. ПРОДАН,
канд. физ.-мат. наук,
А.А. КУРНУХИН,
аспирант
(БГТУ «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова,
Санкт-Петербург;
Севастопольский
государственный
университет,
Севастополь)
anton.kurnukhin@outlook.com

Описан процесс оптимизации аэродинамического профиля, параметризованного кривой Безье, с применением многокритериальных методов стохастической оптимизации – генетического алгоритма и метода роя частиц. Проведено сравнение различных методов многопараметрической оптимизации в условиях существенно вязкой внешней среды. Выявлено влияние первого приближения на итоговую геометрию профиля.

Метод роя частиц, генетический алгоритм, оптимизация аэродинамического профиля

Application of Mathematical Optimization Methods for Designing Airfoil Considering Viscosity

N.V. PRODAN^{1,2} AND A.A. KURNUKHIN^{1,2}

¹ Baltic State Technical University “Voenmeh”, St. Petersburg

² Sevastopol State University, Sevastopol

The paper describes the process of optimization of the airfoil parametrized by the Bezier curve with the use of multicriteria methods of stochastic optimization, namely, the genetic algorithm and the particle swarm method. Various methods of multiparametric optimization are compared in conditions of a significantly viscous environment. The influence of the first approximation on the final geometry of the airfoil is revealed.

Particle swarm optimization, genetic algorithm, airfoil optimization

Математическое моделирование процессов интерференционного обтекания оперенного тела вращения в транспортном отсеке и при выходе из него при дозвуковой скорости движения самолета

П.В. ТОКАРЕВА
(ГНПП «Регион», Москва),
В.Т. ГРУМОНДЗ,
д-р физ.-мат. наук
(МАИ, Москва),
В.Т. КАЛУГИН,
д-р техн. наук
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)
v.grumondz@gmail.com

Рассмотрено математическое моделирование течения воздушной среды в пустом транспортном отсеке при дозвуковой скорости движения самолета при различных углах раскрытия створок, а также моделирование течения в загроможденном отсеке при наличии помещенного в него оперенного тела вращения. Проведено моделирование процессов интерференционного обтекания оперенного тела вращения при выходе из транспортного отсека.

Математическое моделирование, интерференционное обтекание, оперенное тело вращения, выход из транспортного отсека

Mathematical Modeling of Interferential Flow around the Finned Body in the Transport Compartment and When Exiting Thereof at Subsonic Aircraft Movement

P.V. TOKAREVA¹, V.T. GRUMONDZ², AND V.T. KALUGIN³

¹ JSC GNPP “Region”, Moscow

² Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

³ Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow

The paper considers the mathematical modeling of the air flow in an empty transport compartment at a subsonic speed of the aircraft at various angles of flaps opening, as well as the flow in a cluttered compartment in the presence of a finned body of revolution placed in it. The modeling of interference flow processes around a finned body of revolution at the exit from the transport compartment was carried out.

Mathematical modeling, interference flow, finned body of revolution, exit from the transport compartment

**Диагностика технического состояния
авиационных подшипников качения
с применением голографической
интерферометрии**

Р.Х. МАКАЕВА,
д-р техн. наук,
В.В. ТАКМОВЦЕВ,
канд. техн. наук,
А.М. ЦАРЕВА,
канд. техн. наук,
Н.И. ШАКИРОВ,
аспирант
(КНИТУ-КАИ, Казань)
roskh2001@mail.ru

Представлены голографические исследования радиально-упорных шариковых подшипников качения газотурбинных двигателей. По результатам исследований проведена диагностика технического состояния радиально-упорных шариковых подшипников качения и установлена причина возникновения дефекта – разрыва боковой перемычки сепаратора.

Радиально-упорные шариковые подшипники качения газотурбинных двигателей, голографическая интерферометрия, форма колебания, резонансная частота

**Diagnostics of the Technical Condition of Aircraft Rolling
Bearings Using the Holographic Interferometry**

R.KH. MAKAEVA, V.V. TAKMOVTSEV, A.M. TSAREVA, AND N.I. SHAKIROV

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

This paper presents the results of holographic studies for angular contact rolling ball bearings of gas turbine engines. From these studies, the technical condition of angular contact ball rolling bearings was diagnosed and the cause of the defect—rupture of the cage's side connecting strip, was determined.

Angular contact rolling ball bearing bearing of gas turbine engine, holographic interferometry, vibration mode, resonance frequency

**Реализация двухрежимного горения
за счет изменения геометрии проточной части
модельной камеры сгорания прямооточного
воздушно-реактивного двигателя**

В.Н. АВРАШКОВ,
д-р техн. наук,
А.Б. АГУЛЬНИК,
д-р техн. наук,
Е.М. ГНЕСИН,
Д.В. МЕЩЕРЯКОВ,
Н.В. МИТРОХОВ,
канд. техн. наук
(МАИ, Москва)
aerospace@mai.ru

Представлены результаты экспериментов по горению метановодородной смеси в стендовой модели двухрежимной широкодиапазонной прямооточной камеры сгорания с проточной частью переменной геометрии, полученные в рамках работы по программе LEA.

Огневые испытания, модельная двухрежимная широкодиапазонная камера сгорания, горение, 3D-расчеты

**Realization of Dual-Mode Combustion by Changing
the Geometry of the Model Combustion Chamber Flow
Path of a Ramjet Engine**

V.N. AVRASHKOV, A.B. AGUL'NIK, E.M. GNESIN,
D.V. MESHCHERYAKOV, AND N.V. MITROKHOV

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

This paper presents the results of experiments on the methane-hydrogen mixture combustion in a test bench model of a dual-mode wide-range ramjet combustion chamber with a variable geometry flow path, obtained as part of a work under the LEA program.

Fire tests, model dual-mode wide-range combustion chamber, combustion, 3D calculations

3D-исследования теплообмена и гидродинамики в каналах с видоизмененными сдвоенными V-образными лунками и полусферическими выступами между ними

По результатам 3D-расчета в ANSYS CFX выполнено расчетное исследование локальных и средних коэффициентов теплоотдачи, гидродинамических характеристик каналов охлаждения с двумя V-образными лунками и полусферическими выступами между ними при их расположении в канале в коридорном и шахматном порядке, а также с двумя V-образными лунками и полусферическими выступами между ними и сдвоенными лунками на двух вершинах V-образных лунок.

Ю.Г. ГОРЕЛОВ,
канд. техн. наук
(ПК «Салют» АО «ОДК»,
Москва)
Yury.Dina@gmail.com

Сдвоенные V-образные лунки с полусферическими выступами между ними, теплопроизводительность, коэффициенты теплоотдачи

3D Investigations of Heat Exchange and Hydrodynamics in Channels with Modified Double V-Shaped Dimples and Hemispherical Protrusions between Them

YU.G. GORELOV

“Salyut” Gas Turbine Engineering Research and Production Center, Moscow

As a result of 3D calculation in the ANSYS CFX, the numerical investigation was carried out of local and averaged heat transfer coefficients, hydrodynamic characteristics of cooling channels with two V-shaped dimples with hemispherical protrusions between them for the case of its location by in-line and staggered orders; and also with two V-shaped dimples and hemispherical protrusions between them and twin dimples on the two vertexes of V-shaped dimples.

Double V-shaped dimples with hemispherical protrusions between them, thermal performance, heat transfer coefficients

Аномальные особенности динамики внутрикамерных процессов в ракетных двигателях на твердом топливе малой тяги с многошашечным пороховым зарядом

М.Ю. ЕГОРОВ,
д-р физ.-мат. наук
(ПНИПУ, Пермь),
Д.М. ЕГОРОВ,
канд. техн. наук,
С.М. ЕГОРОВ,
канд. физ.-мат. наук
(НИИПМ, Пермь)
egorov-m-j@yandex.ru

Для оптимизации параметров рассматриваемого типа ракетного двигателя на твердом топливе исследуется динамика его внутрикамерных процессов. Формулируется сопряженная постановка задачи уровня постановки вычислительного эксперимента. Приводятся результаты численных расчетов, на основании которых выявлена аномальная особенность процесса срабатывания ракетного двигателя.

Ракетный двигатель на твердом топливе, внутрикамерные процессы, численное исследование, аномальный режим работы

Anomalous Features of the Dynamics of Intrachamber Processes in a Low-Thrust Solid Propellant Rocket Engine with a Multi-Grain Propellant Charge

M.YU. EGOROV¹, D.M. EGOROV², AND S.M. EGOROV²

¹ Perm National Research Polytechnic University, Perm

² Scientific Research Institute of Polymeric Materials, Perm

The dynamics of intrachamber processes in a type of solid propellant rocket engine under consideration is investigated in order to optimize its parameters. The conjugate statement of the problem at the level of setting up a computational experiment is formulated. The results of numerical calculations are presented, which revealed an anomalous feature of the rocket engine firing process.

Solid propellant rocket engine, intrachamber processes, numerical research, abnormal operation

Фреттинг-износ в опорных узлах турбомашин систем криообеспечения силовых и энергетических установок, основанных на эффекте сверхпроводимости

Ю.И. ЕРМИЛОВ,
канд. техн. наук,
Ю.А. РАВИКОВИЧ,
д-р техн. наук,
Д.П. ХОЛОБЦЕВ
(МАИ, Москва)
yurer@yandex.ru

Сформулированы задачи, и разработана методика исследования фреттинг-износа элементов лепестковых газодинамических подшипников в турбомашинных системах криообеспечения при внутреннем и внешнем вибрационном воздействии. Описывается экспериментальная установка для проведения исследования фреттинг-износа элементов лепестковых газодинамических подшипников.

Системы криообеспечения, высокооборотные турбомашинны, фреттинг-износ, лепестковые газодинамические подшипники

Fretting Wear of Cryogenic Turbomachine Bearings for Superconductive Power Plants

YU.I. ERMILOV, YU.A. RAVIKOVICH, AND D.P. KHOLOBTSEV

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

The paper presents the tasks and study technique dedicated to fretting wear of air foil bearings of cryogenic turbomachines under internal and external vibrations as well as fretting wear test unit for air foil bearings.

Cryogenic systems, high-speed turbomachines, fretting wear, air foil bearings

А.Б. НАДИРАДЗЕ,
д-р техн. наук,
И.П. НАЗАРЕНКО,
д-р техн. наук,
С.А. ХАРТОВ,
д-р техн. наук
(МАИ, Москва),
Ю.Л. ФРОЛОВА,
канд. техн. наук
(ФГБУ «ВНИИМС»,
Москва)
nadiradze@yandex.ru

Особенности распространения струй стационарных плазменных двигателей в вакуумной камере

Рассмотрены процессы ослабления потока ускоренных ионов за счет процессов резонансной перезарядки и упругого рассеяния, генерация ионов перезарядки и ионов упругого рассеяния. Приведены численные оценки ослабления потока ускоренных ионов и потоков вторичных частиц.

Стационарный плазменный двигатель, плазменная струя, параметры струи, зондовые измерения, ионы перезарядки, упругое рассеяние, ослабление потока, давление остаточного газа

Spreading Features of SPT Jets in Vacuum Chamber

A.B. NADIRADZE¹, I.P. NAZARENKO¹, S.A. KHARTOV¹, AND YU.L. FROLOVA²

¹ Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

² All-Russian Research Institute of Metrological Service, Moscow

Processes of accelerated ions attenuation due to the resonance charge exchange and elastic scattering processes are examined in the paper. In addition, we study the process of generation for charge exchange and elastic scattering ions. We estimated numerically the attenuation process of accelerated ions and of secondary particles flows.

Stationary plasma thruster, plasma jet, jet parameters, probe measurements, charge exchange ions, elastic scattering, flow attenuation, residual gas pressure

Определение характеристик горения в закрученном потоке

Т.Д. НГУЕН,
аспирант,

Б.Г. МИНГАЗОВ,

д-р техн. наук

(КНИТУ-КАИ, Казань)

nguyenthedat1609@gmail.com

Проведено исследование основных характеристик камеры сгорания – полноты и температуры сгорания – в закрученной струе с позиции теории турбулентного горения.

Закрученная струя, коэффициент смешения, нормальная и турбулентная скорости горения, полнота и температура сгорания

Determination of Combustion Characteristics in Swirling Flow

T.D. NGUYEN AND B.G. MINGAZOV

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

In the context of the theory of turbulent combustion, the main characteristics of the combustion chamber, namely, the completeness and combustion temperature are studied in a swirling jet.

Swirling jet, mixing ratio, normal and turbulent combustion rates, combustion completeness and temperature.

Оценка корректности применяемых коэффициентов местных сопротивлений для расчета внутрибаллистических характеристик ракетного двигателя на твердом топливе в одномерном приближении

С целью повышения точности прогнозирования внутрибаллистических параметров ракетного двигателя на твердом топливе в одномерной постановке для канальных осесимметричных зарядов определены значения коэффициентов местных сопротивлений. Проведена верификация численной модели, получено удовлетворительное соответствие результатов численного моделирования экспериментальным данным. Представлены зависимости коэффициентов потерь от геометрических параметров рабочего тракта ракетного двигателя на твердом топливе, показаны отличия расчетных значений коэффициентов местных сопротивлений от справочных для каналов с непроницаемыми стенками.

А.Н. САБИРЗЯНОВ,
канд. техн. наук,
Ч.Б. ХАМАТНУРОВА,
аспирант,
А.Н. КИРИЛЛОВА,
аспирант
(КНИТУ-КАИ, Казань)
ansabirzyanov@kai.ru

Ракетный двигатель на твердом топливе, внутрибаллистические характеристики, коэффициент местного сопротивления, численное моделирование, верификация, непроницаемая стенка

Validation of Local Resistance Coefficients Involved in Evaluation of Characteristics of Internal Ballistics in Solid Rocket Engines in One-Dimensional Approximation

A.N. SABIRZYANOV, CH.B. KHAMATNUROVA, AND A.N. KIRILLOVA

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

Local resistance coefficients are estimated in order to improve the prediction accuracy of internal ballistics in solid rocket engines in one-dimensional setup for single-perforated axisymmetric grains. The numerical model is verified demonstrating satisfactory agreement between numerical simulation and experimental results. Correlations between loss coefficients and geometric parameters of solid rocket engine duct are obtained. Differences between the calculated local resistance coefficients and their reference values for channels with impermeable walls are demonstrated.

Solid rocket engine, internal ballistics, local resistance coefficient, numerical simulation, verification, permeable wall

**Волновые твердотельные гироскопы
русской разработки
для бортовых систем летательных аппаратов**

В.Я. РАСПОПОВ,
д-р техн. наук,
В.В. ЛИХОШЕРСТ,
канд. техн. наук,
А.В. КАЛИКАНОВ,
аспирант
(ТулГУ, Тула)
lvv_01@inbox.ru

Рассмотрены волновые твердотельные гироскопы с объемными резонаторами, работающие в режиме датчиков угловой скорости для бортовых систем управления и обеспечения безопасности полета. Приведены результаты лабораторно-стендовых испытаний волновых твердотельных гироскопов с металлическим цилиндрическим и кремниевым кольцевым резонаторами. Указаны возможные варианты их применения в бортовых системах летательных аппаратов.

Летательный аппарат, бортовая система, волновой твердотельный гироскоп, резонаторы, испытания

**Wave Solid-State Gyroscopes of Russian Design
for Aircraft Onboard Systems**

V.YA. RASPOPOV, V.V. LIKHOSHERST, AND A.V. KALIKANOV

Tula State University, Tula

This paper considers wave solid-state gyroscopes with volumetric resonators operating in the mode of angular velocity sensors for onboard control systems and flight safety. The results of laboratory bench tests of wave solid-state gyroscopes with metal cylindrical and silicon ring resonators are presented. Possibilities of their use in aircraft onboard systems are indicated.

Aircraft, onboard system, wave solid-state gyroscope, resonators, tests

Закономерности формирования термостойкости теплозащитных покрытий с учетом технологической наследственности

Т.А. ИЛЬИНКОВА,
д-р техн. наук
(КНИТУ-КАИ, Казань),
А.Т. ТАГИРОВ,
магистр
(КНИТУ, Казань)
pochta20006@bk.ru

Произведены расчеты напряженного состояния двухслойной системы теплозащитного покрытия в зависимости от режима термического нагружения и наличия или отсутствия температурного градиента по сечению образца при испытании на термостойкость. В расчетах учитывались изменения состояния структуры керамического слоя покрытия и подслоя. Разработана численная модель работоспособности теплозащитных покрытий в зависимости от соотношения толщин керамического слоя и подслоя.

Теплозащитное покрытие, термические испытания, термический градиент, напряженное состояние, численная модель работоспособности

Regularities of the Heat Resistance Formation of Thermal Barrier Coatings Counting Technological Heredity

T.A. IL'INKOVA¹ AND A.T. TAGIROV²

¹ Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

² Kazan National Research Technological University, Kazan

Calculations of the stress state of a two-layer system of a thermal barrier coating are performed depending on the thermal loading mode and the presence or absence of a temperature gradient over the sample cross section during the thermal resistance test. The calculations took into account changes in the state of the structure of the coating ceramic layer and the sublayer. A numerical model of the thermal barrier coating performance is developed depending on the thickness ratio of the ceramic layer and the sublayer.

Thermal barrier coating, thermal tests, thermal gradient, stress state, numerical model of performance

Сплавы для лопаток промышленных и морских газотурбинных установок: особенности эксплуатации и направления развития

А.В. ЛОГУНОВ,

д-р техн. наук,

Д.В. ДАНИЛОВ,

канд. техн. наук,

М.Н. БУРОВ,

канд. техн. наук,

С.А. ЗАВОДОВ

(ПАО «ОДК-Сатурн»,

Рыбинск)

maxim.burov@uec-saturn.ru

Рассмотрены особенности условий работы лопаток промышленных и морских газотурбинных установок. Обсуждаются перспективы их развития. Предложен новый высокожаропрочный сплав для охлаждаемых лопаток газовых турбин с монокристалльной структурой, отличающийся повышенной структурной стабильностью и стойкостью к морской солевой коррозии.

Газотурбинные установки, морская солевая коррозия, никелевый жаропрочный сплав с монокристалльной структурой

Alloys for Blades of Industrial and Marine Gas Turbine Plants: the Operation Peculiarities and Development Directions

A.V. LOGUNOV, D.V. DANILOV, M.N. BUROV, AND S.A. ZAVODOV

PAO UEC-Saturn, Rybinsk

The paper considers peculiarities of operation conditions of blades of industrial and marine gas turbine plants and prospects of their development. The new nickel single-crystal high-temperature alloy is proposed for gas turbine cooled blades, which is distinguished by high structure stability and resistance to marine salt corrosion.

Gas turbine plants, marine salt corrosion, nickel single-crystal high-temperature alloy

Согласование характеристик конструкционной прочности и структуры для обоснования технологии штамповки титановых сплавов

Ф.И. МУРАТАЕВ,
канд. техн. наук,
Е.А. ШАБАЛИН,
магистрант
(КНИТУ-КАИ, Казань)
fmurataev@bk.ru

Используются эффективные характеристики истинной диаграммы деформирования титановых сплавов мартенситного и переходного классов для обоснования их технологических состояний, обеспечивающих высокие значения сопротивления усталости в разных комбинациях нагрузок применительно к условиям работы основных элементов компрессоров, центроплана и шасси. Свойства, определяющие конструкционную прочность, согласуются с параметрами структуры сплавов.

Титановые сплавы, технология, структура, конструкционная прочность, усталость

Matching the Characteristics of Structural Strength and Structure to Justify the Stamping Technology of Titanium Alloys

F.I. MURATAEV AND E.A. SHABALIN

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

The effective characteristics of the true strain diagram of martensitic and transition class titanium alloys are used to substantiate their technological states providing high values of fatigue resistance in different combinations of loads as applied to the operating conditions of the main elements of compressors, center section, and landing gear. The properties determining the structural strength are consistent with the structure parameters of the alloys.

Titanium alloys, technology, structure, structural strength, fatigue

**Моделирование тепловых процессов
в передающих комплексах
радиолокационных станций мониторинга**

А.В. ТИМОШЕНКО,

д-р техн. наук,

А.Ю. ПЕРЛОВ,

канд. техн. наук

(НИУ МИЭТ, Зеленоград),

В.И. ГОНЧАРЕНКО,

д-р техн. наук

(МАИ, Москва),

А.В. ЕРМАКОВ,

магистр

(АО РТИ, Москва)

goncharenkovi@mai.ru

Предложен оригинальный подход к моделированию тепловых процессов многоканальной радиолокационной станции системы непрерывного мониторинга в условиях действия дестабилизирующих факторов различной природы. Представлены результаты моделирования температурных рядов радиолокационной станции при наиболее теплонапряженных режимах работы. На основании разработанной модели тепловых процессов синтезирован алгоритм, позволяющий прогнозировать значения температуры и отказы блоков по перегреву.

Радиолокационная станция системы мониторинга, теплонапряженный режим, система охлаждения, тепловые процессы, прогнозирование отказов

**Modeling of Thermal Processes in Transmitting Complexes
of Radar Monitoring Stations**

A.V. TIMOSHENKO¹, A.YU. PERLOV¹, V.I. GONCHARENKO², AND A.V. ERMAKOV³

¹ National Research University of Electronic Technology (MIET), Zelenograd

² Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

³ Academician A.L. Mints Radio Engineering Institute, Moscow

An original approach is proposed to modeling the thermal processes in a multichannel continuous monitoring radar station under the influence of destabilizing factors of various nature. The results of modeling the temperature series for a radar station under the most heat-intensive operating modes are presented. On the basis of the model developed for thermal processes, an algorithm was proposed that makes it possible to predict temperature values and overheating failures of units.

Monitoring system radar, heat stress mode, cooling system, thermal processes, failure prediction

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

УДК 629.7.013.1

Комплекс конструктивных составляющих и метод предварительного определения массы фюзеляжа вертолета

Рассматривается возможный состав агрегатов и компонентов конструкции фюзеляжа многоцелевого вертолета. Для ряда существующих серийных многоцелевых (пассажирских, транспортных) вертолетов предлагается метод построения корреляционной взаимосвязи массы фюзеляжа и измеренной площади проекций общего вида фюзеляжа.

И.И. ФЕДОРОВ,
канд. техн. наук
(КНИТУ-КАИ, Казань)
igor.fedorov.49@mail.ru

Агрегаты и компоненты фюзеляжа вертолета, взаимосвязь массы фюзеляжа и его размеров и формы, метод предварительного определения и планирования массы фюзеляжа, площадь проекций общего вида фюзеляжа

Complex of Structural Components and a Method for Preliminary Determination of the Mass of the Helicopter Fuselage

I.I. FEDOROV

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

The possible composition of aggregates and components of the fuselage structure of a multi-purpose helicopter is considered. For a number of existing serial multi-purpose (passenger, transport) helicopters, a method is proposed for constructing a correlation relationship between the mass of the fuselage and the measured projection area of the general view of the fuselage.

Helicopter fuselage aggregates and components, relationship of the fuselage mass with the size and shape, method of preliminary determination and planning of the fuselage mass, projection area of the fuselage general view

**Определение упругих характеристик
крепления лопасти вертолета
по результатам прочностных испытаний**

В.А. КОСТИН,
д-р техн. наук,
А.М. ГАРАЕВ,
аспирант
(КНИТУ-КАИ, Казань)
vakostin@mail.ru

Рассматривается идентификация жесткостей опор лопасти при поперечных колебаниях изгиба. Используется балочная модель при упругой заделке. Применяется функционал цели в виде квадрата невязки между экспериментальными и теоретическими значениями деформаций. Минимизация функционала ведется итерациями с использованием аппарата чувствительности.

Обратные задачи, идентификация, краевые условия, уточнение, аппарат чувствительности

**Determination of Elastic Characteristics of the Helicopter
Blade Attachment Based on the Strength Tests Results**

V.A. KOSTIN AND A.M. GARAEV

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

The identification of stiffness of the blade supports at lateral bending vibrations is considered. A beam model is used for elastic restraint. The target functional is applied in the form of the squared discrepancy between the experimental and theoretical values of deformations. The minimization of the functional is carried out by iterations using the sensitivity apparatus.

Inverse problems, identification, boundary conditions, refinement, sensitivity apparatus

**Анализ аварийных ситуаций,
возникающих при взаимодействии
воздушных и наземных транспортных средств**

А.В. ШВЕЦОВ,
канд. техн. наук
(СВФУ, Якутск; ВГУЭС,
Владивосток)
transport-safety@mail.ru

Рассматривается проблема столкновений воздушных и наземных транспортных средств в аэропорту. Систематизирована статистика подобных происшествий в российских и зарубежных аэропортах. Выполнена классификация столкновений по уровню опасности их последствий.

Риск, фактор, аварийная ситуация, столкновение

**Analysis of Emergency Situations Arising
from the Interaction of Flight and Ground Vehicles**

A.V. SHVETSOV

North-Eastern Federal University, Yakutsk
Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok

The paper considers the problem of collisions between flight and ground vehicles at the airport. The statistics of such incidents at Russian and foreign airports is systematized. Collisions are classified according to the level of danger of their consequences.

Risk, factor, emergency, collision