

**С.Ф. БОРОДКИН,**

канд. техн. наук,

**М.А. КИСЕЛЕВ,**

д-р техн. наук

(МГТУ ГА, Москва),

**В.В. ОВЧИННИКОВ,**

д-р техн. наук

(МГТУ им. Н.Э. Баумана,

Москва),

**Ю.В. ПЕТРОВ,**

д-р техн. наук

(МГТУ ГА, Москва)

m.kiselev@mstuca.aero

## **Влияние подвижности топлива в баках на характеристики аэроупругости воздушного судна**

*Предложена математическая модель, обеспечивающая расчет характеристик аэроупругости самолета с учетом подвижности топлива в крыльевых топливных баках. Представлены результаты использования разработанной математической модели на примере самолета Ан-124.*

**Аэроупругость, колебания крыла, собственные колебания, подвижность топлива**

## **The Impact of Fuel Fluidity in Wing Tanks on the Aeroelasticity Characteristics of an Aircraft**

S.F. BORODKIN<sup>1</sup>, M.A. KISELEV<sup>1</sup>, V.V. OVCHINNIKOV<sup>2</sup>, AND YU.V. PETROV<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow

<sup>2</sup> Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow

*A mathematical model is proposed that provides the calculation of aircraft aeroelasticity characteristics taking into account the fluidity of the fuel in the aircraft wing tanks. This paper demonstrates the results of using the mathematical model developed in terms of the An-124 aircraft.*

**Aeroelasticity, wing oscillation, natural oscillation, fuel fluidity**

**Ф.Р. ИСМАГИЛОВ,**  
д-р техн. наук,  
**В.Е. ВАВИЛОВ,**  
д-р техн. наук,  
**И.И. ЯМАЛОВ,**  
канд. техн. наук,  
**Р.Р. УРАЗБАХТИН,**  
аспирант,  
**А.И. БИКЧУРИН**  
(УГАТУ, Уфа)  
urr98@mail.ru

## **Вопросы обеспечения виброустойчивости современных авиационных блоков электроники**

*Исследуются вопросы обеспечения виброустойчивости современных авиационных блоков электроники на примере инверторного преобразователя разработки научно-исследовательского коллектива ФГБОУ ВО «УГАТУ» (Уфа).*

**Электрификация летательных аппаратов, инверторный преобразователь, виброустойчивость**

## **Issues of Ensuring the Vibration Resistance for Modern Aircraft Electronics Units**

F.R. ISMAGILOV, V.E. VAVILOV, I.I. YAMALOV, R.R. URAZBAKHTIN,  
AND A.I. BIKCHURIN

Ufa State Aviation Technical University, Ufa

*The issues of ensuring the vibration resistance of modern aviation electronic units are studied in terms of an inverter developed by the Ufa State Aviation Technical University research team.*

**Aircraft electrification, inverter, vibration resistance**

**Л.А. ФИНКЕЛЬБЕРГ,**  
канд. техн. наук  
(ЦИАМ  
им. П.И. Баранова,  
Москва),  
**В.Е. ВАВИЛОВ,**  
д-р техн. наук,  
**Д.Р. ФАРАХОВ,**  
канд. техн. наук,  
**А.Н. КОСТЮЧЕНКОВ,**  
канд. техн. наук,  
**И.Ф. САЯХОВ**  
(УГАТУ, Уфа)  
isayakhov92@mail.ru

## **Проектирование, разработка и испытания стартера-генератора на основе бесщеточной электрической машины постоянного тока для демонстратора авиационного поршневого двигателя АПД-500**

*Представлен процесс создания стартера-генератора для демонстратора авиационного поршневого двигателя АПД-500. Приведены результаты экспериментов, подтверждающие правильность численного расчета и эффективность предложенной конструкции.*

**Стартер-генератор, бесщеточная электрическая машина постоянного тока, самолет**

## **Design, Development and Testing of a Starter-Generator Based on a Brushless DC Electric Machine for an APD-500 Aircraft Piston Engine Demonstrator**

L.A. FINKEL'BERG<sup>1</sup>, V.E. VAVILOV<sup>2</sup>, D.R. FARRAKHOV<sup>2</sup>,  
A.N. KOSTYUCHENKOV<sup>2</sup>, AND I.F. SAYAKHOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Central Institute of Aviation Motors, Moscow

<sup>2</sup> Ufa State Aviation Technical University, Ufa

*The process of creating a starter-generator for the APD-500 aircraft piston engine demonstrator is presented. The results of experiments confirming the correctness of the numerical calculation and the effectiveness of the proposed design are presented.*

**Starter generator, DC brushless electric machine, aircraft**

**Использование  
перфорированных стабилизаторов  
отделяемого головного блока системы  
аварийного спасения космических кораблей  
для обеспечения статической устойчивости  
при дозвуковых скоростях полета**

**В.Т. КАЛУГИН,**  
д-р техн. наук,  
**А.Ю. ЛУЦЕНКО,**  
канд. техн. наук,  
**М.Д. КАЛУГИНА,**  
аспирант,  
**Д.К. НАЗАРОВА,**  
канд. техн. наук,  
**Д.М. СЛОБОДЯНЮК,**  
канд. техн. наук  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
Москва)  
dknazarova@bmstu.ru

*Исследуется возможность применения плоских перфорированных стабилизирующих устройств в качестве альтернативы решетчатым стабилизаторам отделяемого головного блока ракеты-носителя. Проанализированы аэродинамические характеристики и структуры обтекания модели со сплошными и перфорированными стабилизаторами.*

**Перфорированный стабилизатор, отделяемый головной блок, система аварийного спасения, аэродинамические характеристики, дозвуковой поток воздуха, аэродинамическая труба, FlowVision**

**Application of Perforated Stabilizers for Static Stability  
at Subsonic Flight Speeds of the Separation Unit  
of a Spacecraft Emergency Escape System**

V.T. KALUGIN, A.YU. LUTSENKO, M.D. KALUGINA, D.K. NAZAROVA,  
AND D.M. SLOBODYANYUK

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

*The paper is devoted to the study of the possibility to use flat perforated stabilizing devices as an alternative to lattice stabilizers of the separation unit in the case of the spacecraft emergency escape system activation. The aerodynamic characteristics and flow structures of the model with solid and perforated stabilizers were analyzed.*

**Perforated stabilizer, main stage separation unit, emergency escape system, aerodynamic characteristics, subsonic airflow, wind tunnel, FlowVision**

## Расчетная оценка эффективности применения различных топливных пар на борту малого космического летательного аппарата

**А.А. ЛЕВИХИН,**  
канд. техн. наук,  
**А.И. МУСТЕЙКИС**  
(БГТУ «ВОЕНМЕХ»  
им. Д.Ф. Устинова,  
Санкт-Петербург)  
a.musteykis@gmail.com

*Описана методика и приведены результаты расчетной оценки эффективности применения топливных пар на основе керосина, метана и водорода с кислородом для двигательной установки малого разгонного блока сверхлегкой ракеты-носителя. Получены зависимости максимального времени работы двигательной установки для малого разгонного блока массой до 80 кг от исходного давления и температуры компонентов в баках.*

**Сверхлегкая ракета-носитель, малый разгонный блок, металлокомпозитные баки, жидкостный ракетный двигатель малой тяги**

## Computational Assessment of the Efficiency of Using Various Fuel Pairs Onboard a Small Spacecraft

A.A. LEVIKHIN AND A.I. MUSTEIKIS

Baltic State Technical University "Voenmeh", Saint Petersburg

*The paper describes a methodology and presents the results of a computational assessment of the efficiency of using fuel pairs based on kerosene, methane, and hydrogen with oxygen for the propulsion system of a small booster stage of an ultralight launch vehicle. The dependences of the maximum operating time of the propulsion system for a small booster stage weighing up to 80 kg on the initial pressure and temperature of the components in the tanks are obtained.*

**Ultralight launch vehicle, small booster stage, metal composite tanks, liquid propellant thruster**

**Послойное исследование  
напряженно-деформированного состояния  
трехслойных конических отсеков  
летательных аппаратов  
с прямоугольными в плане вырезами**

**В.Н. БАКУЛИН,**  
канд. техн. наук  
(ИПРИМ РАН,  
Москва)  
vbak@yandex.ru

*Рассмотрена модель для послойного исследования напряженно-деформированного состояния трехслойных конических оболочек с прямоугольными в плане вырезами. В качестве примера приведены результаты расчета напряженно-деформированного состояния трехслойного конического отсека с прямоугольными в плане вырезами.*

**Модель для послойного исследования, трехслойные конические оболочки, прямоугольные в плане вырезы, напряженно-деформированное состояние**

**Layer-by-Layer Study of the Stress and Strain State  
of Sandwich Conical Aircraft Compartments  
with Rectangular Cutouts**

V.N. BAKULIN  
IAM RAS, Moscow

*A model for a layer-by-layer study of the stress and strain state of sandwich conical shells with rectangular cutouts is considered. As an example, the results are given for the stress-strain analysis of a sandwich conical compartment with rectangular cutouts.*

**Model of the layer-by-layer study, sandwich conical shells, rectangular cutouts, stress and strain state**

## **Нелинейное деформирование и устойчивость композитной цилиндрической оболочки при комбинированном нагружении крутящим и изгибающим моментами**

*Излагается конечно-элементная постановка решения задач устойчивости цилиндрических оболочек, выполненных из композиционного материала, с учетом моментности и нелинейности их докритического напряженно-деформированного состояния. Исследована устойчивость круговой цилиндрической оболочки, выполненной из полимерного композиционного материала, при комбинированном нагружении крутящим и изгибающим моментами. Выяснено влияние способов укладки монослоев, нелинейности деформирования на критические нагрузки, потери устойчивости оболочки и весовую эффективность композитных оболочек в сравнении с металлическими.*

**Л.П. ЖЕЛЕЗНОВ,**  
д-р техн. наук  
(СибНИА им. С.А. Чаплыгина,  
Новосибирск)  
Zgeleznov@sibnia.ru

**Цилиндрические композитные оболочки, полимерные композиционные материалы, нелинейное деформирование, устойчивость, метод конечных элементов, изгибающий и крутящий моменты, весовая эффективность**

## **Nonlinear Deformation and Stability of a Composite Cylindrical Shell under Combined Loading by Torsion and Bending Moments**

L.P. ZHELEZNOV

SibNIA named after S.A. Chaplygin, Novosibirsk

*A finite element formulation of solving the stability problems for composite cylindrical shells is presented, taking into account the momentness and nonlinearity of their subcritical stress-strain state. The stability of a circular cylindrical shell made of a polymer composite material under combined loading by torsion and bending moments is investigated. The influence of the methods of laying monolayers, the nonlinearity of deformation on the critical loads of the shell stability loss and the weight efficiency of composite shells in comparison with metallic ones is clarified.*

**Cylindrical composite shells, polymer composite materials, nonlinear deformation, stability, finite element method, bending moment, torsion moment, weight efficiency**

**В.К. БАДЯЕВА,**  
студент

(РУДН, Москва),

**А.О. БЛИНОВ,**

**А.В. БОРИСОВ,**

д-р физ.-мат. наук

(филиал ФГБОУ ВО

«НИУ "МЭИ"»,

Смоленск),

**Р.Г. МУХАРЛЯМОВ,**

д-р физ.-мат. наук

(РУДН, Москва),

BorisowAndrej@yandex.ru

## **Моделирование движения экзоскелета при полете на подвижной платформе с учетом динамики электроприводов**

*Рассмотрена модель динамики экзоскелета, расположенного на подвижной летающей платформе типа Flyboard Air. Проанализировано влияние вращающихся роторов электроприводов экзоскелета на его динамику, установлена необходимость их учета при реальном функционировании механизма.*

**Экзоскелет, шарнир, звено, летающая платформа, опорно-двигательный аппарат человека, программное движение, управляющие моменты, электропривод**

## **Simulation of Exoskeleton Motion during a Flight on a Movable Base Taking into Consideration the Electric Drive Dynamics**

V.K. BADYAEVA<sup>1</sup>, A.O. BLINOV<sup>2</sup>, A.V. BORISOV<sup>2</sup>, AND R.G. MUKHARLYAMOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup> RUDN University, Moscow

<sup>2</sup> Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute, Smolensk

*The dynamics of exoskeleton model placed on a movable flying base of Flyboard Air type is considered. The impact of electric drive spinning rotors on the exoskeleton dynamics is examined. The importance of taking this impact into account in developing an operating mechanism is established.*

**Exoskeleton, hinge, link, flying base, human musculoskeletal system, programmed motion, control torques, electric drive**



## Алгоритм расчета угловой ориентации летательного аппарата и расстояния относительно посадочной платформы с оптическими метками

**Т.Ю. ГАЙНУТДИНОВА**,  
канд. техн. наук  
(КФУ, Казань),  
**А.И. БАДЕХА**,  
**А.В. ГАЙНУТДИНОВА**,  
**В.Г. ГАЙНУТДИНОВ**,  
д-р техн. наук  
(КНИТУ-КАИ, Казань)  
gainut@mail.ru

*Предлагается алгоритм решения задачи определения угловой ориентации летательного аппарата и расстояния относительно посадочной платформы с оптическими метками на основе нелинейных соотношений, позволяющих восстановить геометрическую фигуру из оптических меток на посадочной платформе по распознанным изображениям этих меток на матрице-экране электронной камеры. Приводятся результаты тестового расчета, подтверждающего высокую вычислительную эффективность предложенного алгоритма и пригодность для навигационных расчетов точной автоматической посадки в режиме реального времени.*

**Летательные аппараты, навигация, алгоритмы автоматической посадки, система технического зрения, оптические метки**

## An Algorithm of Aircraft Attitude and Distance Estimation Relative to the Landing Platform with Optical Marks

T.YU. GAINUTDINOVA<sup>1</sup>, A.I. BADEKHA<sup>2</sup>,  
A.V. GAINUTDINOVA<sup>2</sup>, AND V.G. GAINUTDINOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kazan Federal University, Kazan

<sup>2</sup> Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

*An algorithm for solving the problem of the aircraft attitude and distance estimation relative to the landing platform with optical marks is proposed. The algorithm is based on nonlinear relationships allowing it to reconstruct a geometric figure from optical marks on the landing platform from the recognized images of these marks on the screen of an electronic camera. The results presented for the test calculation confirm the high computational efficiency of the proposed algorithm and its suitability for navigation calculations of precise automatic landing in real time.*

**Aircraft, navigation, automatic landing algorithms, vision system, optical marks**

**Исследование характеристик течения газа  
при использовании  
внутрисопловых интерцепторов  
для управления вектором тяги**

**Н.А. БРЫКОВ,**  
канд. техн. наук,  
**К.О. ТИЩЕНКО,**  
аспирант  
(БГТУ «ВОЕНМЕХ»  
им. Д.Ф. Устинова,  
Санкт-Петербург)  
brykovna@ya.ru

*Проведено численное моделирование газодинамических параметров соплового канала при использовании внутрисоплового рампового интерцептора с целью управления вектором тяги. Анализируются возникающие осевые и боковые усилия при различных углах отклонения интерцептора.*

**Управление вектором тяги, интерцептор, вычислительная газодинамика**

**Investigation of Gas Flow Characteristics When Using  
Intra-Nozzle Interceptors to Control the Thrust Vector**

N.A. BRYKOV AND K.O. TISHCHENKO

Baltic State Technical University “Voenmeh”, Saint Petersburg

*The paper covers the numerical simulation of the gas-dynamic parameters of the nozzle passage when using an intra-nozzle ramp interceptor in order to control the thrust vector. The analysis of the resulting axial and lateral forces at various angles of interceptor deflection is carried out.*

**Thrust vector control, interceptor, computational fluid dynamics**

**П.В. БУЛАТ,**

д-р физ.-мат. наук,  
канд. экон. наук,

**Н.В. ПРОДАН,**

канд. физ.-мат. наук,

**Л.О. ВОКИН,**

аспирант

(БГТУ «ВОЕНМЕХ»

им. Д.Ф. Устинова,

Санкт-Петербург;

ФГАОУ ВО «Севастопольский

государственный

университет», Севастополь)

leonidvokin@mail.ru

## **Сравнение моделей турбулентности при расчете модельного винтокольцевого двигателя**

*Определены границы применимости наиболее популярных моделей турбулентности к расчету типичных высоконапорных винтокольцевых двигателей. Выполнено сравнение с экспериментальными исследованиями.*

**Численное моделирование, винтокольцевой движитель, модель турбулентности**

## **Comparison of Turbulence Models in the Numerical Simulation of the Model Ducted Propeller**

P.V. BULAT<sup>1,2</sup>, N.V. PRODAN<sup>1,2</sup>, AND L.O. VOKIN<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Baltic State Technical University “Voenmeh”, Saint Petersburg

<sup>2</sup> Sevastopol State University, Sevastopol

*The limits of applicability of the most popular turbulence models to the calculation of typical high-pressure ducted propellers were determined. A comparison with experimental studies was made.*

**Numerical modeling, ducted propeller, turbulence model**

## Параметрический анализ конструктивных схем воздухозаборных устройств и его влияние на аэродинамическую компоновку

**В.В. ВЕТРОВ,**

*д-р техн. наук,*

**В.В. МОРОЗОВ,**

*канд. техн. наук,*

**П.Д. ШИЛИН**

*(ТулГУ, Тула)*

pvl.shilin@yandex.ru

*Рассматривается метод выбора предпочтительной конфигурации воздухозаборного устройства на основе сравнительного анализа его дроссельных и аэродинамических характеристик при влиянии внешних возмущений с использованием глобального критерия – энергетической предпочтительности.*

**Воздухозаборное устройство, дроссельная характеристика, пограничный слой**

## Parametric Analysis of Air Intake Design Schemes and Its Impact on Aerodynamic Layout

V.V. VETROV, V.V. MOROZOV, AND P.D. SHILIN

Tula State University, Tula

*The paper considers a method for choosing a preferable configuration of an air intake device based on a comparative analysis of its throttling and aerodynamic characteristics under the influence of external disturbances using the global criterion of energy preference.*

**Air intake device, throttling characteristics, boundary layer**

## Особенности обтекания угла расширения потоком газа с частицами

**К.Н. ВОЛКОВ,**  
д-р физ.-мат. наук,  
**В.Н. ЕМЕЛЬЯНОВ,**  
д-р техн. наук  
(БГТУ «ВОЕНМЕХ»  
им. Д.Ф. Устинова,  
Санкт-Петербург)  
dsci@mail.ru

Рассматривается обтекание плоской стенки с наклонной гранью потоком, содержащим смесь газа с частицами сферической формы. Приводятся траектории движения дискретных включений в центрированной волне разрежения. Сравниваются результаты расчетов, полученных в рамках Стокса приближения для коэффициента сопротивления индивидуальной частицы и с учетом поправок на инерционность частицы и разреженность газового потока. На основе результатов расчетов делаются выводы о влиянии дисперсной фазы на распределения параметров газового потока.

**Частица, двухфазное течение, сверхзвуковое течение, течение Прандтля – Майера, волна разрежения**

## Gas-Particle Flow around an Expansion Corner

K.N. VOLKOV AND V.N. EMEL'YANOV

Baltic State Technical University "Voenmeh", Saint Petersburg

*The flow containing a mixture of gas with spherical particles around an expansion corner is considered. The motion trajectories of discrete particles in a centred rarefaction wave are presented. The results of numerical calculations obtained with the Stokes law for the drag coefficient of an individual particle are compared with ones after corrections for the inertia of the particle and rarefaction of the gas flow. Conclusions are drawn about the effect of the dispersed phase on the distribution of gas flow parameters.*

**Particle, two-phase flow, supersonic flow, Prandtl–Meyer flow, rarefaction wave**

## Численное моделирование обтекания эллиптических профилей с различной кривизной

**С.А. КУСЮМОВ,**  
канд. техн. наук,  
**А.Н. КУСЮМОВ,**  
д-р физ.-мат. наук,  
**С.А. МИХАЙЛОВ,**  
д-р техн. наук  
(КНИТУ-КАИ, Казань)  
postbox7@mail.ru

*Рассматривается задача численного моделирования двухмерного обтекания профилей эллиптической формы несжимаемым потоком. Проведено моделирование в программном пакете ANSYS Fluent с использованием переходной модели турбулентности  $k-k_l-\omega$ . По результатам моделирования проведен анализ аэродинамических характеристик профилей с различной кривизной в рабочем диапазоне углов атаки.*

**Вычислительная гидромеханика, эллиптический аэродинамический профиль, аэродинамические коэффициенты, обратное обтекание**

## Numerical Simulation of Flow over Elliptical Airfoils with Different Curvature

S.A. KUSYUMOV, A.N. KUSYUMOV, AND S.A. MIKHAILOV

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

*A numerical simulation of incompressible flow over 2D elliptical airfoils is considered. The simulation was performed in the ANSYS Fluent software using the  $k-k_l-\omega$  transient turbulence model. The aerodynamic performance of airfoils having the different curvature was analyzed within the operating range of the angles of attack.*

**Computational Fluid Dynamics, elliptical airfoil, aerodynamic coefficients, reversed flow**

**А.И. МЕЛЬНИКОВА,**

аспирант

(БГТУ «ВОЕНМЕХ»

им. Д.Ф. Устинова,

Санкт-Петербург;

ФГАОУ ВО «Севастопольский

государственный

университет», Севастополь),

**П.Н. КУЗНЕЦОВ,**

канд. техн. наук

(ФГАОУ ВО «Севастопольский

государственный

университет», Севастополь),

**М.П. БУЛАТ,**

канд. техн. наук

(БГТУ «ВОЕНМЕХ»

им. Д.Ф. Устинова,

Санкт-Петербург;

ФГАОУ ВО «Севастопольский

государственный

университет», Севастополь)

angelika044@gmail.com

**Исследование несущих свойств  
фюзеляжа аэротакси  
с коротким взлетом и посадкой,  
набранного аэродинамическими профилями  
с отбором воздуха в верхней критической точке**

*Численно исследуется аэродинамика фюзеляжа аэротакси, форма которого получена решением обратной задачи аэродинамики. Исследуется зависимость подъемной силы от угла атаки и расхода отбираемого воздуха.*

**Аэродинамический профиль, аэротакси, беспилотный летательный аппарат, обратная задача аэродинамики, численное моделирование, энергетические методы увеличения подъемной силы**

**Investigation of the Lifting Properties of  
the Fuselage Constructed by Airfoils with Air Extraction at  
the Upper Critical Point for a Short Takeoff and Landing Air Taxi**

A.I. MEL'NIKOVA<sup>1,2</sup>, P.N. KUZNETSOV<sup>2</sup>, AND M.P. BULAT<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Baltic State Technical University "Voenmeh", Saint Petersburg

<sup>2</sup> Sevastopol State University, Sevastopol

*In this paper, we numerically study the aerodynamics of the air taxi fuselage, the shape of which is obtained by solving the inverse problem of aerodynamics. The dependence of the lifting force on the angle of attack and the flow rate of the bleeding air is investigated.*

**Airfoil, air taxi, unmanned aerial vehicle, inverse problem of aerodynamics, numerical simulation, energy methods for increasing the lift**

**О.А. БЫЦЕНКО**,  
канд. техн. наук,  
**Д.С. МАРТЫНКЕВИЧ**,  
**В.С. ОЛЕШКО**,  
канд. техн. наук  
(МАИ, Москва),  
**Н.О. СТРИЖЕВСКАЯ**  
(АО «Московское  
машиностроительное  
предприятие  
им. В.В. Чернышёва»,  
Москва)  
oleshkovs@mai.ru

## Математическое моделирование нагружения восстановленных лопаток компрессоров газотурбинных двигателей

*Приведена методика расчета прочностных характеристик восстановленных лопаток компрессоров газотурбинных двигателей. Представлены результаты расчетов прочности восстановленных сваркой лопаток, имеющих прямолинейный и инновационный криволинейный сварные швы.*

**Авиационная техника, газотурбинный двигатель, лопатка, восстановление, ремонт, сварка, метод конечных элементов**

## Mathematical Modeling of Loading for Remanufactured Compressor Blades of Gas Turbine Engines

O.A. BYTSENKO<sup>1</sup>, D.S. MARTYNKEVICH<sup>1</sup>,  
V.S. OLESHKO<sup>1</sup>, AND N.O. STRIZHEVSKAYA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

<sup>2</sup> Moscow Engineering Enterprise named after V.V. Chernyshev, Moscow

*A method for calculating the strength characteristics of for gas turbine engines is given. The results of strength analysis of blades restored by welding and having a rectilinear and innovative curvilinear welds are presented.*

**Aircraft, gas turbine engine, blade, recovery, repair, welding, finite element method**



## Глушение шума в установках калибровки сопел летательных аппаратов

**О.А. ДУШИНА,**  
канд. техн. наук,

**А.А. ВАЛЕЕВ,**  
**Н.С. ДУШИН,**

канд. техн. наук,  
**С.А. КОЛЧИН,**

канд. техн. наук  
(ФИЦ КазНЦ РАН, Казань)  
o.a.dushina@mail.ru

*Экспериментально исследована эффективность нескольких вариантов конструкций кондиционеров потока с изогнутыми перфорированными пластинами с точки зрения снижения влияния акустического шума на работу ультразвукового расходомера газа, потерь давления, компенсации искажений поля течения и сочетания этих факторов.*

**Сопло, калибровка, акустический шум, гидравлическое сопротивление, искажение течения, ультразвук**

## Noise Suppression in Aircraft Nozzle Calibration Facilities

O.A. DUSHINA, A.A. VALEEV, N.S. DUSHIN, AND S.A. KOLCHIN

FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Kazan

*Experiments on the efficiency of several design versions of flow conditioners with folded perforated plates were carried out. The efficiency was estimated from the standpoint of reduced influence of acoustic noise on ultrasonic gas flowmeter performance, decreased pressure loss, elimination of flow field distortion, and combination of these factors.*

**Nozzle, calibration, acoustic noise, drag, flow distortion, ultrasound**

**Я.М. КЛЕБАНОВ,**  
д-р техн. наук  
(СамГТУ, Самара),  
**В.В. МУРАШКИН,**  
**А.И. ДАНИЛЬЧЕНКО,**  
канд. техн. наук  
(ЦСКБ ОАО «УК ЕПК»,  
Самара),  
**В.Р. ПЕТРОВ,**  
аспирант,  
**К.А. ПОЛЯКОВ,**  
канд. физ.-мат. наук  
(СамГТУ, Самара)  
garry\_c@rambler.ru

## **Динамика роликовых подшипников газотурбинных двигателей при гидродинамическом трении**

*Рассматривается метод расчета проскальзывания в роликовом цилиндрическом подшипнике при контактном гидродинамическом трении и выполняется его проверка на соответствие экспериментальным данным по проскальзыванию при разных значениях радиальной нагрузки и радиального зазора. Определены зависимости значений критического по условиям заедания проскальзывания подшипников типоразмеров 2672934 и 1032930 от значений радиальных нагрузок и зазоров в подшипнике.*

**Цилиндрический роликовый подшипник, проскальзывание, коэффициент трения, саморазогрев**

## **Dynamics of Roller Bearings of Gas Turbine Engines under Hydrodynamic Friction**

YA.M. KLEBANOV<sup>1</sup>, V.V. MURASHKIN<sup>2</sup>,  
A.I. DANIL'CHENKO<sup>2</sup>, V.R. PETROV<sup>1</sup>, AND K.A. POLYAKOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Samara State Technical University, Samara

<sup>2</sup> TsSKB OAO "EPK Samara", Samara

*The paper considers a method for calculating the skidding in cylindrical roller bearings under contact hydrodynamic friction and confirms its compliance with experimental data on skidding at various values of radial load and radial clearance. Dependences of the skidding value of bearings 2672934 and 1032930 on the radial load and bearing clearance, which are critical for the occurrence of seizing, are determined.*

**Cylindrical roller bearing, skidding, coefficient of friction, self-heating**

**Методика оптимизации  
противоточного рекуперативного теплообменника  
для системы криогенного обеспечения  
транспортных 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

*Проведен анализ известных данных для расчета теплопередачи и гидравлического сопротивления различных поверхностей теплообмена рекуперативных теплообменников различных типов. Разработана методика оптимизации рекуперативного теплообменника по массе и потребляемой системой криогенного обеспечения мощности.*

**Системы криообеспечения, противоточный рекуперативный теплообменник, методика оптимизации**

**The Method for Optimization  
of a Countercurrent Recuperative Heat Exchanger  
for a Cryogenic System Used in Superconducting  
Transport Power Plants**

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

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

*Known data on computations of heat transfer and hydraulic resistance of various heat-exchange surfaces in countercurrent recuperative heat exchangers were analyzed. A method for the optimization of a recuperative heat exchanger in terms of its weight and the power consumed by the cryogenic system was developed and proposed.*

**Cryogenic systems, countercurrent recuperative heat exchanger, optimization method**

## **Эффективность тепловой завесы при вдуве пульсирующего потока воздуха через однорядные пояски отверстий**

**А.В. ИЛЬИНКОВ,**

канд. техн. наук,

**В.В. ТАКМОВЦЕВ,**

канд. техн. наук,

**А.Л. ТУКМАКОВ,**

д-р техн. наук,

**А.В. ЦУКИН,**

д-р техн. наук,

**И.С. БАРАНОВ,**

студент

(КНИТУ-КАИ, Казань)

a.v.shchukin@rambler.ru

*Выполнено сравнительное экспериментальное исследование эффективности пленочного охлаждения плоской поверхности вдувом в основной поток пульсирующего потока воздуха через пояски наклонных цилиндрических отверстий. Установлено, что на исследованном участке тепловой завесы при вдуве пульсирующего потока воздуха в условиях оптимального параметра вдува эффективность тепловой воздушной завесы снижается по сравнению со стационарным режимом вдува, что связано с возникновением неустойчивости пристенного течения, отсутствующей при стационарном вдуве.*

**Охлаждаемые лопатки турбин, пульсирующий поток, цилиндрические отверстия, угол и параметр вдува, эффективность тепловой завесы**

## **Efficiency of Heat Shield Generated by Blowing the Pulsating Airflow through One-Row Bands of Holes**

A.V. IL'INKOV, V.V. TAKMOVTSEV, A.L. TUKMAKOV,

A.V. SHCHUKIN, AND I.S. BARANOV

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

*Comparative experimental study was carried out for the efficiency of the film cooling of a plane surface by blowing the pulsating air flow through bands of inclined cylindrical holes into the main flow. For the considered section of the heat shield, it was demonstrated that blowing the pulsating air flow at an optimal blowing factor reduces the efficiency of heat shield compared to steady blowing. This is associated with the onset of instability of the near-wall flow, which is absent in steady blowing.*

**Cooled turbine blade, pulsating flow, cylindrical hole, blowing angle, blowing ratio, heat shield efficiency**

## **Численное исследование вязких течений в соплах ракетных двигателей с профилированной сверхзвуковой частью и отрывом ламинарного пограничного слоя от стенки**

**И.А. КРЮКОВ,**

канд. физ.-мат. наук  
(МАИ, Москва; ИПМех РАН  
им. А.Ю. Ишлинского,  
Москва),

**И.Э. ИВАНОВ,**

канд. физ.-мат. наук  
(МАИ, Москва; МГУ, Москва),

**С.А. ШУСТОВ,**

д-р техн. наук  
(Самарский университет,  
Самара)  
ivanovmai@mail.ru

*В целях численного исследования вязких течений в соплах ракетных двигателей с профилированной сверхзвуковой частью и отрывом ламинарного пограничного слоя от стенки сопла разработана методика расчета на основе решения системы уравнений Навье – Стокса. Определены параметры газодинамического течения в сопле с отрывом потока для широкого диапазона степеней нерасчетности.*

**Ракетный двигатель, сопло, газодинамическое течение, ламинарный режим, отрыв пограничного слоя от стенки, система уравнений Навье – Стокса**

## **Numerical Study of Viscous Flows in Rocket Engine Nozzles with an Optimized Supersonic Part and Separation of the Laminar Boundary Layer from the Wall**

I.A. KRYUKOV<sup>1,2</sup>, I.E. IVANOV<sup>1,3</sup>, AND S.A. SHUSTOV<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

<sup>2</sup> Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the RAS, Moscow

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow

<sup>4</sup> Samara National Research University, Samara

*The aim of this work is the development of computational tools based on the solution of the system of Navier–Stokes equations for numerical study of viscous gas flows in the nozzles of liquid propellant rocket engines with a thrust optimized contour of the supersonic part with separation of the laminar boundary layer from the wall. The energy and thrust characteristics of these engines are determined for the flow with separation in the nozzle for a wide range of nozzle pressure ratio.*

**Rocket engine, nozzle, gas-dynamic flow, laminar regime, separation of the boundary layer from the wall, Navier–Stokes system of equations**

**Методика препарирования  
авиационных газотурбинных двигателей  
датчиками вибраций через оценку  
их информативности методами  
математического моделирования**

**К.В. ШАПОШНИКОВ,**  
д-р филос. по техн. наукам,  
**А.В. ДАВЫДОВ,**  
канд. техн. наук,  
**С.А. ДЕГТЯРЕВ,**  
**М.К. ЛЕОНТЬЕВ,**  
д-р техн. наук  
(ООО «Альфа-Транзит»,  
Москва),  
**И.Л. ГЛАДКИЙ,**  
канд. техн. наук  
(АО «ОДК-Авиадвигатель»,  
Пермь)  
kvshaposhnikov@alfatran.com

*Предложена методика определения расположения вибрационных преобразователей на корпусах авиационных двигателей с целью повышения их информативности методами математического моделирования. Апробация методики, основанной на расчете и анализе форм колебаний общей динамической модели двигателя на его критических скоростях, позволила сформировать схему его препарирования датчиками вибраций с высоким откликом на возбуждающее действие со стороны роторов.*

**Авиационный двигатель, датчики вибрации, динамика роторов, схема препарирования двигателя, критическая скорость, ротор – корпус – подвеска, моделирование, DYNAMICS R4**

**Method for Equipping the Aircraft Gas Turbine Engine  
with Vibration Sensors by Evaluating Their Information Content  
Based on Mathematical Modeling**

K.V. SHAPOSHNIKOV<sup>1</sup>, A.V. DAVYDOV<sup>1</sup>, S.A. DEGTYAREV<sup>1</sup>,  
M.K. LEONT'EV<sup>1</sup>, AND I.L. GLADKII<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Alfa-Tranzit Co., Ltd., Moscow

<sup>2</sup> UEC-Aviadvigatel JSC, Perm

*The paper proposes a novel method for determining the location of vibration sensors on the aircraft engine case in order to enhance their information content by mathematical modeling. The method is based on calculation of the engine critical speeds and analysis of their vibration mode shapes using the general dynamic model of the engine. The method was tested on the engine model and allowed forming the installation scheme of sensors with high information response on vibration excitation generated by its rotors.*

**Aircraft engine, vibration sensors, rotor dynamics, scheme of vibration sensors installation, critical speed, rotor-case-suspension, modeling, DYNAMICS R4**

**Струйная электролитно-плазменная  
постобработка деталей  
газотурбинных двигателей,  
изготовленных аддитивными методами**

**К.Ю. НАГУЛИН,**  
д-р техн. наук,  
**А.А. ТЕРЕНТЬЕВ,**  
аспирант,  
**М.Д. БЕЛОВ,**  
**А.Х. ГИЛЬМУТДИНОВ,**  
д-р физ.-мат. наук  
(КНИТУ-КАИ, Казань)  
knagulin@mail.ru

*С применением высокоскоростной визуализации проведено исследование процесса струйной электролитно-плазменной обработки поверхности изделий. Установлены пути оптимизации процесса струйной электролитно-плазменной обработки, продемонстрированы его возможности на примере обработки изготовленных по технологии 3D-печати реальных узлов газотурбинных двигателей с высоким уровнем исходной шероховатости поверхности и внутренними полостями и каналами.*

**Аддитивные технологии, шероховатость поверхности, электролитно-плазменная обработка, обработка полостей, струйная обработка, газотурбинный двигатель**

**Electrolytic-Plasma Jet Polishing of Additively Manufactured  
Gas Turbine Engine Components**

K. YU. NAGULIN, A. A. TERENT'EV, M. D. BELOV, AND A. KH. GIL'MUTDINOV

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

*The study of electrolytic-plasma jet polishing process was made using a high-speed camera. The process visualization allowed us to find optimization methods. Electrolytic-plasma jet polishing capabilities are demonstrated in terms of processing the additively manufactured gas turbine engine components with a high level of initial surface roughness and with internal cavities and channels.*

**Additive technologies, surface roughness, electrolytic-plasma processing, cavity processing, jet processing, gas turbine engine**

## Математическое описание физико-химических процессов, протекающих при нанесении полимерных порошковых покрытий струйными способами

**В.Л. ФЕДЯЕВ,**  
д-р техн. наук  
(ИММ ФИЦ КазНЦ РАН,  
Казань),  
**Э.Р. ГАЛИМОВ,**  
д-р техн. наук,  
**А.В. БЕЛЯЕВ,**  
канд. техн. наук  
(КНИТУ-КАИ, Казань)  
alexey-beljaev@mail.ru

*Рассматриваются струйные способы нанесения полимерных порошковых покрытий на поверхность изделий. Представлены технические решения по повышению их эффективности, в частности, при выполнении работ в полевых (трассовых) условиях. Осуществляется математическое моделирование аэродинамических, тепловых, физико-химических процессов в проточных полостях распылителей. Определяются рациональные конструкторские параметры распылителей, режимы нанесения покрытий, позволяющие уменьшить их пористость, повысить адгезионную прочность.*

**Полимерные порошковые покрытия, струйное напыление, математическое моделирование, рациональные конструкторские параметры и технологические режимы**

## Mathematical Description of Physical and Chemical Processes Occurring during the Application of Polymer Powder Coatings by Jet Methods

V.L. FEDYAEV<sup>1</sup>, E.R. GALIMOV<sup>2</sup>, AND A.V. BELYAEV<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IME – Subdivision of FIC KazanSC of RAS, Kazan

<sup>2</sup> Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

*Jet methods for applying polymer powder coatings to the surface of products are considered. Technical solutions are presented to improve their efficiency, especially when performing work in the field (route) conditions. Mathematical modeling of aerodynamic, thermal, physical and chemical processes in the flow cavities of sprayers is carried out. Rational design parameters of sprayers, coating application modes are determined, which make it possible to reduce their porosity and increase adhesive strength.*

**Polymer powder coatings, jet spraying, mathematical modeling, rational design parameters and technological modes**



## Постановка задачи и исследование армирующих компонентов для создания композитных гибридных конструкций

*Предлагается новый подход к объединению полимерной композитной и металлической частей изделия. В основе конструктивно-технологических решений лежит идея внедрения металлической части в композит на мезоуровне объединением армирующих волокон из металла и минералов. Сформулирован перечень задач, решение которых актуально для достижения гармоничной совместной работы разнородных армирующих материалов в составе одного изделия. Составлен план исследований и мероприятий. Выделены технологические методы для совмещения минеральной и металлической арматуры. Разработана оснастка и проведены испытания нескольких вариантов проволоки и углеровинга с разными механическими характеристиками. Дано сопоставление деформативных свойств металлических и минеральных волокон с прогнозом обеспечения их эффективной совместной работы.*

**В.И. ХАЛИУЛИН,**  
д-р техн. наук,  
**В.В. БАТРАКОВ,**  
канд. техн. наук,  
**П.А. ПЕТРОВ,**  
студент  
(КНИТУ-КАИ, Казань)  
pla.kai@mail.ru

**Композитные конструкции, гибридные материалы, прочностные испытания, ровинг, металлическая проволока, совмещение волокон**

## Problem Description and a Study of Reinforcement Components to Produce Composite Hybrid Structures

V.I. KHALIULIN, V.V. BATRAKOV, AND P.A. PETROV

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

*The authors suggest a new approach to combine polymer composite and metal components in a single product that is based on the idea to integrate metal component into a composite on a mezo level by combining metal and mineral fibers. The paper presents a set of challenges that have to be overcome to get different reinforcement materials acting consistently together in a product, study and activities plan, and processing methods to combine mineral and metal reinforcement. A testing fixture has been designed and a number of wires and carbon rovings with different mechanical properties have been tested. A comparison of stress-strain behavior of metal and mineral fibers is provided with a review of their combined action efficiency.*

**Composite structures, hybrid materials, strength testing, roving, metal wire, fiber combination**

**Алгоритм оценки технического состояния радиолокационных станций мониторинга на основе кластеризации многомерных неравномерных временных рядов**

**А.В. ТИМОШЕНКО,**

*д-р техн. наук,  
(МИЭТ, Москва),*

**В.И. ГОНЧАРЕНКО,**

*д-р техн. наук  
(МАИ, Москва),*

**А.Ю. ПЕРЛОВ,**

*канд. техн. наук  
(МИЭТ, Москва),*

**В.А. ПАНКРАТОВ**

*(МАИ, Москва)  
goncharenkovi@mai.ru*

*Разработан новый алгоритм оценки технического состояния радиолокационных станций мониторинга на основе кластеризации многомерных неравномерных временных рядов гетерогенных признаков, полученных при анализе данных системы сбора данных технического состояния. Представлены результаты применения разработанного алгоритма кластеризации временных рядов данных технического состояния радиолокационных станций, полученные на этапе эксплуатации.*

**Радиолокационные станции мониторинга, анализ данных технического состояния, кластеризация временных рядов, циклостационарность, топологический анализ данных, понижение размерности**

**Algorithm for Assessing the Technical Condition of the Monitoring Radar Based on the Clustering of Multidimensional Nonuniform Time Series**

A.V. TIMOSHENKO<sup>1</sup>, V.I. GONCHARENKO<sup>2</sup>, A.YU. PERLOV<sup>1</sup>,  
AND V.A. PANKRATOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup> National Research University of Electronic Technology (MIET), Moscow

<sup>2</sup> Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

*In the paper, a new algorithm is developed for assessing the technical condition of radar monitoring stations based on the clustering of multidimensional nonuniform time series of heterogeneous attributes obtained by the data analysis of the technical condition data collecting system. The results of application are presented for the developed algorithm of clustering the time series of the technical condition data of radar stations received during operation.*

**Monitoring radar, technical condition data analysis, time series clustering, cycle stationarity, topological data analysis, dimensionality reduction**

## АЭРО- И ГАЗОДИНАМИКА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ИХ ДВИГАТЕЛЕЙ

УДК 629.735.45

### Исследование интерференции элементов компоновки фюзеляжа вертолета с крылом

**А.С. БАТРАКОВ,**  
канд. техн. наук,  
**В.В. ПАХОВ**  
(КНИТУ-КАИ, Казань)  
batrakov\_a.c@mail.ru

*Рассматривается вопрос обтекания компоновки фюзеляжа вертолета с крылом. Используется комплексный подход на основе численного моделирования и экспериментального исследования для оценки влияния крыла на аэродинамическое сопротивление компоновки при различных углах установки. Определены рациональные углы установки крыла в зависимости от угла атаки фюзеляжа.*

**Аэродинамические характеристики, фюзеляж вертолета, численное моделирование**

### A Research of Interference between Elements of a Helicopter Fuselage with a Wing

A.S. BATRAKOV AND V.V. PAKHOV

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

*The paper discusses the issue of flow around the layout of a helicopter fuselage with a wing. In this paper, an integrated approach based on computational modeling and experimental research is used to assess the aerodynamic drag of the layout in the presence of a wing at various installation angles. Rational wing installation angles are determined depending on the angle of attack of the fuselage.*

**Aerodynamic performance, helicopter fuselage, numerical simulation**