

## **Деформирование удлиненной тонкостенной конструкции с динамически разрушающимся теплозащитным покрытием**

*Дано приближенное решение задачи динамического деформирования удлиненной тонкостенной конструкции с разрушающимся во времени теплозащитным покрытием. Исследовано изменение ее собственных частот колебаний в течение всего процесса разрушения. Приведены примеры.*

**Б.А. АНТУФЬЕВ,**  
д-р техн. наук  
(МАИ, Москва)  
antufjev.bor@yandex.ru

**Удлиненная тонкостенная конструкция, теплозащитное покрытие, частоты колебаний, динамическое деформирование**

## **Deformation of an Elongated Thin-Walled Structure with a Dynamically Collapsing Heat-Shielding Covering**

B.A. ANTUF'EV

*An approximate solution of the problem of dynamic deformation of an elongated thin-walled structure with a collapsing in time heat-shielding covering is given. The change of natural oscillation frequencies during the whole process of destruction is investigated. Examples are given.*

**Elongated thin-walled construction, heat-shielding covering, oscillation frequencies, dynamic deformation**

**А.Н. АРХИПОВ**,  
канд. техн. наук  
(МАИ, Москва),  
**М.В. ВОЛГИНА**  
(ПАО «ОДК-Сатурн»,  
Рыбинск),  
**А.А. МАТУШКИН**,  
канд. техн. наук  
(МАИ, Москва),  
**Ю.А. РАВИКОВИЧ**,  
д-р техн. наук  
(МАИ, Москва),  
**Д.П. ХОЛОБЦЕВ**  
(МАИ, Москва)  
arkhipov.48@list.ru

## **Влияние выбора модели и граничных условий на результаты расчета напряженно-деформированного состояния ротора компрессора низкого давления**

*Представлены результаты расчета напряженно-деформированного состояния в критической зоне ротора компрессора низкого давления газотурбинного двигателя при выборе различных моделей ротора и граничных условий.*

**Газотурбинный двигатель, вентилятор, компрессор низкого давления, ротор, метод конечных элементов, модель, граничные условия, напряженно-деформированное состояние**

## **Effect of a Model and Boundary Conditions on the Results of Analyzing the Stress-Strain State of a Low-Pressure Compressor Rotor**

A.N. ARKHIPOV, M.V. VOLGINA, A.A. MATUSHKIN,  
YU.A. RAVIKOVICH, AND D.P. KHOLOBTSEV

*The results of analyzing the stress-strain state in the critical zone of the low-pressure compressor rotor of the gas turbine engine at choosing different models of the rotor and boundary conditions are presented.*

**Gas turbine engine, fan, low-pressure compressor, rotor, finite element method, model, boundary conditions, stress-strain state**

## **Флаттер слоистой цилиндрической консольной оболочки, подкрепленной торцевым шпангоутом**

**В.Н. БАКУЛИН**,  
канд. техн. наук  
(ИПРИМ РАН, Москва;  
МАИ, Москва),  
**М.А. КОНОПЕЛЬЧЕВ**,  
**А.Я. НЕДБАЙ**,  
канд. техн. наук  
(«Корпорация «МИТ»»,  
Москва)  
vbak@yandex.ru

*Исследуется аэроупругая устойчивость цилиндрической консольной оболочки средней длины, подкрепленной торцевым шпангоутом, при обтекании сверхзвуковым потоком газа. Рассмотрены типы крепления оболочки и движение оболочки, описываемое уравнениями полубезмоментной теории слоистых оболочек. Получены зависимости критической скорости флаттера от размеров шпангоута, коэффициента конструкционного демпфирования, параметров потока и типа граничных условий.*

**Флаттер оболочки, слоистая оболочка, подкрепленная цилиндрическая оболочка**

## **Flutter of a Laminated Cantilever Cylindrical Shell with a Ring-Stiffened Edge**

V.N. BAKULIN, M.A. KONOPEL'CHEV, AND A.YA. NEDBAI

*The aeroelastic stability of a medium length cantilever cylindrical shell stiffened by an edge ring with the outer surface exposed to supersonic gas flow is investigated. The shell motion is described by the equations of the semi-membrane theory for laminated shells and considered with various end conditions. The dependences of the critical flutter speed on the dimensions of the ring cross-section, the value of the structural damping coefficient, the flow parameters, and the type of boundary conditions are obtained.*

**Shell flutter, laminated shell, stiffened cylindrical shell**

## Напряженно-деформированное состояние и устойчивость конструктивно-анизотропных панелей летательных аппаратов из композиционных материалов с учетом технологии изготовления

*Приводятся соотношения математической модели для исследования напряженно-деформированного состояния и устойчивости конструктивно-анизотропных панелей из композиционных материалов. Уточняется математическая модель подкрепляющего элемента в условиях одностороннего контакта с обшивкой. Учитывается влияние процесса технологии изготовления панелей – остаточных температурных напряжений и предварительного натяжения армирующих волокон. Рассматривается класс точных решений краевых задач с разрешающим уравнением восьмого порядка. Проанализировано влияние конструктивных параметров на уровень напряжений, перемещений, критических сил изгибной и крутильной форм потери устойчивости.*

**Б.В. БОЙЦОВ**,  
д-р техн. наук,  
**Л.М. ГАВВА**,  
канд. техн. наук,  
**А.И. ЕНДОГУР**,  
д-р техн. наук,  
**В.В. ФИРСАНОВ**,  
д-р техн. наук  
(МАИ, Москва)  
rva101@mail.ru

**Панели из композиционных материалов, эксцентричный продольно-поперечный набор, тонкостенный стержень, несимметричная структура пакета, силовое и технологическое температурное нагружение, вариационный принцип Лагранжа, напряженно-деформированное состояние, изгибная и крутильная формы потери устойчивости, MATLAB**

## Stress-Strain State and Buckling Problems of Structurally-Anisotropic Aircraft Panels Made of Composite Materials in View of Production Technology

B.V. BOITSOV, L.M. GAVVA, A.I. ENDOGUR, AND V.V. FIRSANOV

*The main relations of a mathematical model for analyzing the stress-strain state and buckling of structurally-anisotropic panels made of composite materials are proposed. The mathematical model of a stiffening rib being in one-side contact with the skin is refined. One takes into account the influence of panel production technology, namely, residual thermal stresses and preliminary tension of reinforcing fibers. Exact analytical solutions for boundary value problems with the resolvent eight order equation are considered. The influence of the structure parameters on the level of stresses, displacements, buckling forces for bending and torsion modes has analyzed.*

**Composite panels, un-centric longitudinally-lateral set, thin-walled rib, non-symmetric package structure, force and technology thermal action, variation Lagrange principle, stress-strain state, buckling, bending mode, torsion mode, MATLAB**

## **Исследование локальной прочности торсионного несущего винта при действии полетных и стендовых нагрузок**

**В.И. МИТРЯЙКИН,**  
д-р техн. наук  
(КНИТУ-КАИ, Казань),

**В.А. ШУВАЛОВ,**  
д-р техн. наук  
(ПАО «КВЗ», Казань)

Shuvalov\_VA@kazanhelicopters.com

*Проведено исследование напряженно-деформированного состояния торсионного несущего винта вертолета при действии полетных и стендовых нагрузок. Описывается методика оценки предельного состояния по феноменологическим критериям прочности и максимальным напряжениям. Отмечается хорошее совпадение результатов расчета с данными экспериментальных исследований.*

**Композиционные конструкции, торсион бесшарнирного винта вертолета, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов**

## **Study of the Local Strength of the Main Rotor Torsion Bar under the Action of Flight and Test Bench Loads**

V.I. MITRYAIKIN AND V.A. SHUVALOV

*The stress-strain state for the torsion bar of the helicopter main rotor under the action of flight and test bench loads is analyzed. The technique of estimating the ultimate state by phenomenological strength criteria and maximum stresses is described. The close agreement between calculation results and experimental data is observed.*

**Composite structures, torsion bar of the helicopter hingeless main rotor, stress-strain state, finite element method**

# Многокритериальный синтез робастного регулятора системы стабилизации линии визирования оптико-электронной системы авиационного базирования

**Г.Л. ДЕГТЯРЕВ,**  
д-р техн. наук,  
**Р.Н. ФАЙЗУТДИНОВ,**  
канд. техн. наук,  
**И.О. СПИРИДОНОВ,**  
аспирант  
(КНИТУ-КАИ, Казань)  
rstfm@rambler.ru

*Разработана методика многокритериального синтеза робастного регулятора системы стабилизации линии визирования оптико-электронной системы, установленной на борту летательного аппарата. Проведен многокритериальный синтез робастного закона управления для рассматриваемой системы стабилизации.*

**Система стабилизации, робастный регулятор, многокритериальный синтез, линейные матричные неравенства**

## Multiobjective Robust Controller Synthesis for Airborne Electro-Optical Device Line-of-Sight Stabilization System

G.L. DEGTYAREV, R.N. FAIZUTDINOV, AND I.O. SPIRIDONOV

*A technique of multiobjective robust controller synthesis for airborne electro-optical device line-of-sight stabilization system is developed. The multiobjective synthesis of the robust control law for the stabilization system being considered is performed.*

**Stabilization system, robust controller, multiobjective synthesis, linear matrix inequalities**

## **Расчетные методы оценок вращательных производных сил и моментов, действующих на летательный аппарат**

**М.А. ГОЛОВКИН,**  
д-р техн. наук,  
**А.А. ЕФРЕМОВ,**  
канд. техн. наук,  
**М.С. МАХНЕВ,**  
**А.В. СЕТУХА,**  
д-р физ.-мат. наук  
(ЦАГИ, Жуковский)  
spintest@tsagi.ru

*С целью определения вращательных производных сил и моментов по компонентам угловой скорости разработан метод их оценки на базе расчетов распределенных статических аэродинамических характеристик летательного аппарата в предположении малости возмущений от его углового движения. Для оценки производных по поперечной компоненте угловой скорости дополнительно используются расчеты по методу дискретных вихрей. Даны примеры оценок для модели пассажирского самолета в широком диапазоне углов атаки.*

**Силы и моменты аэродинамические, компоненты угловой скорости, вращательные производные**

## **Calculation Methods for Estimating the Rotary Derivatives of Forces and Moments Acting on the Aircraft**

M.A. GOLOVKIN, A.A. EFREMOV, M.S. MAKHNEV, AND A.V. SETUKHA

*In order to determine the rotary derivatives of forces and moments with respect to the angular velocity components, a method of their estimation is developed based on calculations of distributed static aerodynamic characteristics of aircraft under the assumption of smallness of its angular motion perturbations. To estimate the derivatives with respect to the transverse component of the angular velocity, calculations by discrete vortex method are additionally used. Examples of estimates for the passenger aircraft model in a wide range of angles of attack are given.*

**Aerodynamic forces and moments, angular velocity components, rotary derivatives**

## **Концепция малогабаритной управляемой ракеты класса «воздух – поверхность» с ракетным**

### **двигателем на пастообразном топливе**

**Д.Е. КАБАНОВ,**

*аспирант,*

**В.П. МАХРОВ,**

*д-р техн. наук*

*(МАИ, Москва)*

*v\_machrov@rambler.ru*

*Рассматриваются вопросы концептуального построения и разработки малогабаритных управляемых ракет класса «воздух – поверхность» с ракетным двигателем на пастообразном топливе.*

**Малогабаритная ракета, ракетный двигатель, пастообразное топливо**

## **The Concept of a Small-Size Guided Air-To-Surface Missile with Paste-Like Propellant Rocket Engine**

**D.E. KABANOV AND V.P. MAKHROV**

*The matters of conceptual formation and design of a small-size guided air-to-surface missiles with paste-like propellant rocket engine are considered.*

**Small-size missile, rocket engine, paste-like propellant**



**Исследование распространения и ориентации  
реверсивных струй турбореактивного двигателя  
для уменьшения попадания выхлопных газов  
на вход в двигатель**

**Г.Ф. МИНГАЛЕЕВ,**  
д-р экон. наук,  
**А.В. КОСТЕРИН,**  
канд. техн. наук  
**А.А. ЛОПАТИН,**  
канд. техн. наук  
(КНИТУ-КАИ, Казань)  
89030621520@mail.ru

*Приводятся результаты экспериментальных исследований распространения и ориентации реверсивных струй в сносящем потоке воздуха с целью определения конструктивных параметров отклоняющих решеток, предотвращающих попадание реверсивных струй в собственный и рядом расположенный двигатель.*

**Реверс тяги, реверсивная струя, аэродинамическая труба, отклоняющие решетки**

**Investigation of Propagation and Orientation of  
the Turbojet Engine Reverse Jets to Reduce the Ingress  
of Exhaust Gases to the Engine Inlet**

G.F. MINGALEEV, A.V. KOSTERIN, AND A.A. LOPATIN

*The results of experimental studies are presented that describe the propagation and orientation of reverse jets in the air cross flow in order to determine design parameters of deflection vanes cascade for preventing the ingress of reverse jets in the own or nearby engine.*

**Thrust reverse, reverse jet, wind tunnel, deflection vanes cascade**

**В.В. ИВАННИКОВ,**  
д-р филос. по техн. наукам,  
**С.А. ДЕГТЯРЕВ**  
(НТЦ «Альфа-Транзит»,  
Химки),  
**В.В. ПОПОВ,**  
**Ф.Д. СОРОКИН,**  
д-р техн. наук  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана),  
**М.К. ЛЕОНТЬЕВ,**  
д-р техн. наук  
(МАИ, Москва)  
vvivannikov@gmail.com

## **Учет податливости колец при определении контактных усилий в радиальном роликовом подшипнике качения**

*Предложены четыре различных подхода к учету податливости колец подшипника и сопряженных с ним участков вала и корпуса при отыскании величин радиальных контактных усилий, действующих на тела качения. Работоспособность методик показана в численном примере, даны комментарии по их применимости в тех или иных условиях.*

**Радиальный роликовый подшипник качения, авиационные двигатели, математическая модель**

## **Numerical Determination of Contact Forces in Radial Roller Bearings with Flexible Rings**

V.V. IVANNIKOV, S.A. DEGTYAREV, V.V. POPOV,  
F.D. SOROKIN, AND M.K. LEONT'EV

*Four different approaches have been proposed to account for flexibility of the bearing rings and the neighboring parts of the shaft and the housing in computing the radial contact forces acting onto the rolling elements. A numerical example is presented to demonstrate efficacy and performance of the developed models. Their applicability is estimated for various conditions.*

**Radial roller bearing, aircraft engines, mathematical model**

## **О потенциале взаимодействия молекул в многокомпонентных газовых средах**

**И.В. АНИСИМОВА,**

д-р физ.-мат. наук,

**В.Н. ИГНАТЬЕВ,**

д-р физ.-мат. наук,

**Ю.Ф. ГОРТЫШОВ,**

д-р техн. наук,

**Е.Ю. АРИСТОВА,**

канд. физ.-мат. наук

(КНИТУ-КАИ, Казань)

euaristova@rambler.ru

*Для определения коэффициентов переноса в многокомпонентных газовых средах предлагается подход, основанный на молекулярно-кинетической теории газов. Предлагается математическая модель потенциала взаимодействия молекул в многокомпонентных средах, учитывающая упругие и геометрические параметры молекул, а также алгоритм определения параметров в ней.*

**Молекулярно-кинетическая теория газов, многокомпонентная газовая среда, коэффициенты переноса, итерационный метод Ньютона, сходимость итерационного процесса**

## **The Interaction Potential of Molecules in Multicomponent Gaseous Media**

I.V. ANISIMOVA, V.N. IGNAT'EV, YU.F. GORTYSHOV, AND E.YU. ARISTOVA

*To determine the transport coefficients in multicomponent gaseous media, the authors used an approach based on the molecular-kinetic theory of gases. A mathematical model of the interaction potential of molecules in multicomponent media is proposed. This model takes into account elastic and geometric parameters of molecules as well as an algorithm for determining the parameters in it.*

**Molecular-kinetic theory of gases, multicomponent gaseous medium, transport coefficients, Newton's iterative method, convergence of the iterative process**

## Интенсивность вихревых структур в диффузорных выемках

**А.В. ИЛЬИНКОВ**,  
канд. техн. наук,  
**В.В. ТАКМОВЦЕВ**,  
канд. техн. наук,  
**А.В. ШУКИН**,  
д-р техн. наук,  
**И.И. ХАБИБУЛЛИН**,  
канд. техн. наук,  
**И.Ш. ЗАРИПОВ**  
(КНИТУ-КАИ, Казань)  
a.v.shchukin@rambler.ru

Проведено экспериментальное исследование гидродинамики обтекания одиночной диффузорной выемки отрывного типа. Представлены результаты исследования, показавшие, что поворот диффузорной выемки в плане на  $15^\circ$  относительно направления основного потока приводит к образованию в ее полости одиночной самоорганизующейся крупномасштабной вихревой структуры, обеспечивающей непрерывный процесс массообмена с внешним потоком.

**Охлаждаемая турбинная лопатка, самоорганизующаяся крупномасштабная вихревая структура, интенсивность вихревой структуры в диффузорной выемке, коэффициент давления, результаты визуализации течений**

## Vortex Structure Intensity in Diffuser Dimples

A.V. IL'INKOV, V.V. TAKMOVTSEV, A.V. SHCHUKIN,  
I.I. KHABIBULLIN, AND I.SH. ZARIPOV

*An experimental study of the hydrodynamic flow over a single diffuser dimple with a separated flow is carried out. The results of the study are presented, which show that the rotation of the diffuser dimple in plan by 15 deg relative to the main flow direction leads to the formation of a single self-organizing large-scale vortex structure in its cavity providing a continuous mass exchange process with the external flow.*

**Turbine cooled blade, self-organizing large-scale vortex structure, intensity of the vortex structure in the diffuser dimple, pressure coefficient, flow visualization results**

**М.В. ЧЕРНЫШОВ,**

д-р техн. наук  
(БГТУ «Военмех»  
им. Д.Ф. Устинова,  
Санкт-Петербург),

**А.В. ЛЕКАНОВ,**

канд. техн. наук  
(АО «ИСС

им. акад. М.Ф. Решетнёва»,  
Железногорск),

**В.Н. РАЖИКОВ,**

д-р техн. наук,

**С.А. ХОЛОПОВ,**

аспирант

(БГТУ «Военмех»

им. Д.Ф. Устинова,  
Санкт-Петербург)

mvcher@mail.ru

## Исследование радиальных колебаний ротора двигателя герметичного электронасоса

*Рассматриваются нелинейные поперечные колебания ротора электродвигателя небольшой мощности, закрепленного с помощью радиальных шариковых подшипников. Привезены амплитудно-частотные характеристики, определяющие условия появления резонанса. Показано, что нелинейная характеристика жесткости шариковых подшипников ротора определяет сложные колебания ротора, возникающие вследствие появления субгармонических гармоник.*

**Электродвигатель, радиальные шарикоподшипники, резонансные колебания ротора, жесткость конструкции, связь нагрузок и деформаций**

## Study of the Radial Vibrations of a Rotor of a Leak-Proof Electric Pump Engine

M.V. CHERNYSHOV, A.V. LEKANOV, V.N. RAZHIKOV, AND S.A. KHOLOPOV

*This paper considers the nonlinear transverse vibrations of the rotor of the low-power electric motor fastened with radial ball bearings. Amplitude-frequency characteristics are obtained that determine the resonance conditions. It is shown that it is the nonlinear stiffness characteristic of the rotor ball bearings that determines the rotor compound vibrations appearing due to emergence of subharmonic vibrations.*

**Electric motor, radial ball bearings, resonant vibrations of rotor, structural stiffness, load–deformation relationship**

## **Модуляция демпфирования в роторных вибрационных гироскопах**

**Л.У. БАХТИЕВА,**  
канд. физ.-мат. наук  
(КПФУ, Казань),  
**В.М. БОГОЛЮБОВ,**  
канд. техн. наук  
(КНИТУ-КАИ, Казань)  
lbakhtie@yandex.ru

*Представлен новый подход к решению проблемы расширения функциональных возможностей модуляционного роторного вибрационного гироскопа. Проведен анализ его уравнений движения в условиях модуляции демпфирования. Получены численные решения и аналитические зависимости, на основании которых предложены рекомендации по техническому усовершенствованию прибора.*

**Гироскоп, модуляция, демпфирование**

## **Modulation of Damping in the Rotor Vibratory Gyroscopes**

L.U. BAKHTIEVA AND V.M. BOGOLYUBOV

*A new approach to solving the problem of expanding the functionality of the rotor vibratory gyroscope is presented. Its motion equations are analyzed under modulated damping. Numerical solutions and analytical dependences are obtained, on the basis of which recommendations on technical improvement of the device are proposed.*

**Gyro, modulation, damping**

## **О расчетно-экспериментальных исследованиях при настройке аппаратной части беспилотного самолета вертикального взлета и посадки**

**Т.Ю. ГАЙНУТДИНОВА,**

*канд. техн. наук  
(КФУ, Казань),*

**В.Г. ГАЙНУТДИНОВ,**

*д-р техн. наук,*

**Н.В. ЛЕВШОНКОВ,**

*канд. техн. наук,*

**А.В. ГАЙНУТДИНОВА**

*(КНИТУ-КАИ, Казань)*

*tgainut@mail.ru*

*Рассматриваются проблемы, связанные с решением задачи определения пространственного углового положения беспилотного летательного аппарата с инерциальной навигационной системой. Предложены способы практической реализации данной задачи с использованием специальных стендов.*

**Беспилотный летательный аппарат, расчет пространственного углового положения, матрица косинусов, калибровка магнитометров, дрейф датчиков угловых скоростей, стенды для калибровки магнитометров**

## **Numerical and Experimental Analysis in Adjustment of the VTOL UAV Control Hardware**

T.YU. GAINUTDINOVA, V.G. GAINUTDINOV,  
N.V. LEVSHONKOV, AND A.V. GAINUTDINOVA

*Problems associated with determining the angular attitude of the unmanned aerial vehicle (UAV) with an inertial navigation system are considered. Some ways of its practical implementation using special test benches are proposed.*

**Unmanned aerial vehicle, attitude calculation, cosine matrix, calibration of magnetometers, drift of the sensors of angular velocities, test bench for calibration of magnetometers**

## **Исследование методических погрешностей вихревой системы воздушных сигналов дозвукового самолета**

**Е.С. ЕФРЕМОВА,  
В.В. СОЛДАТКИН,**  
д-р техн. наук  
(КНИТУ-КАИ, Казань)  
w-soldatkin@mail.ru

*Рассматриваются особенности построения и конструктивно-функциональная схема вихревой системы воздушных сигналов дозвукового самолета. Раскрываются математические модели и проводится количественная оценка методических аэродинамических погрешностей измерительных каналов системы.*

**Самолет, воздушные сигналы, измерение, система, измерительные каналы, методические погрешности, математические модели, количественные оценки**

## **Study of Procedure Errors of the Vortex Air Data System of a Subsonic Aircraft**

E.S. EFREMOVA AND V.V. SOLDATKIN

*The features of design and structural-functional scheme of the vortex air data system for a subsonic aircraft are considered. Mathematical models are revealed and procedure aerodynamic errors of the system measuring channels are quantitatively estimated.*

**Aircraft, air signals, measurement, system, measuring channels, procedure errors, mathematical models, quantitative assessments**



## Оценка точности работы корреляционно-интерферометрического пеленгатора

**Г.Н. КАЗАКОВ,**  
канд. техн. наук,  
**А.М. ПЕТРАКОВ,**  
канд. техн. наук,  
**В.А. ШЕВЦОВ,**  
д-р техн. наук  
(МАИ, Москва)  
jee2@mail.ru

*На основе аналитического исследования и моделирования выявлены параметры антенной решетки и приемного тракта корреляционно-интерферометрического измерителя, достаточные для обеспечения точности при минимальных аппаратных затратах. Теоретически и с помощью моделирования показано, что неидентичность фазочастотных характеристик аналоговых приемников, используемых пеленгатором по методу корреляционно-интерферометрического измерителя, не влияет на точность измерения угловых координат.*

**Радиомониторинг, определение координат источников радиоизлучения, корреляционно-интерферометрический измеритель, обработка сигнала**

## Accuracy Estimation of a Correlation Interferometric Direction-Finder

G.N. KAZAKOV, A.M. PETRAKOV, AND V.A. SHEVTSOV

*Using theoretical research and numerical simulation, the parameters of the antenna array of the correlational interferometric direction-finder and its feeder arrangement are evaluated in such a way that they can satisfy the required accuracy and the minimal hardware cost. It was shown by theoretical analysis and modeling that non-identical phase frequency responses of the analog receivers used in the direction-finder synthesized by correlational interferometric approach doesn't affect the accuracy of the angular estimation.*

**Radio monitoring, radio emission source location, correlation interferometer, signal processing**

## Управление пьезоактюатором для настройки отражающей поверхности рефлектора космического базирования

**С.А. КАБАНОВ,**  
д-р техн. наук,

**Ф.В. МИТИН,**  
аспирант,

**А.И. КРИВУШОВ**  
(БГТУ «Военмех»

им. Д.Ф. Устинова,  
Санкт-Петербург),

**Е.А. УЛЫБУШЕВ**  
(ИСС

им. акад. М.Ф. Решетнёва,  
Железногорск)  
fedor28@list.ru

*Рассматривается задача регулировки и поддержания формы радиоотражающего сетеполотна крупногабаритного рефлектора космического базирования. Проводится оценка возможности применения пьезоактюаторов для решения поставленной задачи. Показана актуальность проблемы управления актюатором для широкого круга задач, относящихся к космической и авиационной технике. Сравнивается применение различных видов управлений для выбранной математической модели пьезоактюатора.*

**Крупногабаритный рефлектор, пьезоактюатор, прогнозирующая модель, математическое моделирование, оптимизация**

## Control of a Piezo Actuator to Adjust the Reflective Surface of the Space-Based Reflector

S.A. KABANOV, F.V. MITIN, A.I. KRIVUSHOV, AND E.A. ULYBUSHEV

*The task of adjusting and maintaining the shape of the radio-reflective network of a large-sized space-based reflector is considered. The possibility of using piezo actuators to solve this problem is estimated. The urgency of the actuator control problem for a wide range of tasks related to the space and aircraft equipment is shown. Different types of control for the chosen mathematical model of a piezo actuator are compared.*

**Large-sized reflector, piezo actuator, predictive model, mathematical modeling, optimization**

**С.А. МАТВЕЕВ,**  
канд. техн. наук  
(БГТУ «Военмех»  
им. Д.Ф. Устинова,  
Санкт-Петербург),  
**И.В. ШЕВЦОВ,**

(ИСС  
им. акад. М.Ф. Решетнёва,  
Москва),

**А.Д. ШИРШОВ,**  
аспирант,

**Н.Г. ЯКОВЕНКО,**  
канд. техн. наук  
(БГТУ «Военмех»  
им. Д.Ф. Устинова,  
Санкт-Петербург)  
shaldmi@inbox.ru

## **Система беспроводного энергоснабжения актуаторов трансформируемой космической антенны**

*Рассмотрен способ передачи электроэнергии по лазерному каналу в условиях космического пространства. Предложена структура системы беспроводного энергоснабжения актуаторов трансформируемой антенны и сформулированы требования к ее компонентам. Подробно описан накопитель энергии на основе литий-ионного аккумулятора и суперконденсатора. Приведены результаты экспериментальных исследований элементов системы.*

**Актуатор, трансформируемая антенна, беспроводная система энергоснабжения, лазерный канал, накопитель энергии**

## **Wireless Power Supply System for Flexible Space Antenna Actuators**

S.A. MATVEEV, I.V. SHEVTSOV, A.D. SHIRSHOV, AND N.G. YAKOVENKO

*The method of power supply via a laser channel in the cosmic space is discussed. Structure of the wireless power supply system for flexible antenna actuators is proposed and requirements to the said antenna components are stated. An energy storage unit based on lithium-ion polymer battery and supercapacitor is described in detail. Results of experimental studies for the system components are presented.*

**Actuator, flexible antenna, wireless power supply system, laser channel, energy storage unit**

## **Авиационные электрические машины переменного тока с повышенными энергетическими показателями**

**А.Ю. АФАНАСЬЕВ,**  
д-р техн. наук,  
**А.А. ПЕТРОВ,**  
студент  
(КНИТУ-КАИ, Казань)  
afanasiev\_eo@mail.ru

*Представлен анализ эффективности авиационной электрической машины переменного тока с комбинированной обмоткой статора с соединением полуобмоток в звезду и треугольник при 18 пазах на пару полюсов. Критерием является амплитуда первой пространственной гармоники магнитодвижущей силы при фиксированной мощности потерь в обмотке.*

**Электрическая машина переменного тока, комбинированная обмотка, фазный ток, магнитодвижущая сила**

## **The Aircraft Electric Machines of Alternating Current with Raised Energy Performance**

A.YU. AFANAS'EV AND A.A. PETROV

*The efficiency of the aircraft alternating current machine with multifunction winding of stator with Y and delta connection of the half-windings with 18 slots per pair of poles is analyzed. The criterion is the amplitude of the first spatial harmonic of the magnetomotive force (MMF) under the fixed loss power in winding.*

**Electric machine of alternating current, multifunction winding, phase current, magnetomotive force**

## **Проблемы снижения шума, создаваемого на местности самолетами с турбовинтовентиляторными двигателями**

**П.А. МОШКОВ,**  
канд. техн. наук  
(АО «Гражданские  
самолеты Сухого», Москва),

**В.Ф. САМОХИН,**  
д-р техн. наук  
(НИМК ЦАГИ, Москва),

**А.А. ЯКОВЛЕВ,**  
канд. техн. наук  
(ООО «Темперо», Москва)  
moshkov89@bk.ru

*Рассмотрена проблема шума на местности самолетов с биконтрвращающимися винтовентиляторами. Описаны основные источники шума. Рассмотрены основные методы снижения шума винтов. На основании эксперимента предложен метод снижения шума за счет увеличения осевого зазора между винтами.*

**Винтовентилятор, соосный винт, открытый ротор, турбовинтовентиляторный двигатель, методы снижения шума, шум самолетов, шум двигателя, аэроакустика**

## **Problem of the Community Noise Reduction for Aircraft with Open Rotor Engines**

P.A. MOSHKOV, V.F. SAMOKHIN, AND A.A. YAKOVLEV

*This paper considers the problem of community noise for an aircraft with contra-rotating open rotors. Main noise sources are described. Basic methods of noise reduction are considered. A noise reduction method by increasing the axial spacing between propellers is proposed from the test results.*

**Propfan, contra-rotating propeller, open rotor, noise reduction methods, aircraft noise, engine noise, aeroacoustics**

## **Рост номенклатуры изготавливаемых из полимерных композиционных материалов элементов конструкций солнечных батарей космических аппаратов**

**Я.А. ХМЕЛЬНИЦКИЙ**  
(ОИПП «Технология»  
им. А.Г. Ромашина»,  
Обнинск),  
**М.С. САЛИНА**,  
канд. техн. наук  
(КНИТУ-КАИ, Казань)  
2707fm@mail.ru

*Проводится анализ конструкций панелей солнечных батарей космических аппаратов. Рассматривается технология производства высокопрочных углепластиковых полимерных композиционных материалов и конструктивные элементы панелей солнечных батарей, изготавливаемых из композитов. Приводятся данные практического использования ряда композиционных материалов.*

**Солнечная батарея, полимерный композиционный материал, углепластики, панель, конструкция**

## **Expansion of the Product Range of Polymeric Composite Structural Members of Spacecraft Solar Batteries**

YA.A. KHMEL'NITSKII AND M.S. SALINA

*The structure of panels for spacecraft solar batteries is analyzed. The production technology of high-strength carbon fiber polymeric composites and the structural members of solar panels produced from composites are considered. The paper also presents data on practical use of a number of composites.*

**Solar battery, polymeric composite material, carbon-filled plastic, panel, construction**

## Моделирование процесса раскрытия парашютной системы спасения самолета нормальной категории

**О.А. ЛЕДЯНКИНА,**  
**С.А. МИХАЙЛОВ,**  
д-р техн. наук,  
**Д.В. НЕДЕЛЬКО,**  
д-р техн. наук  
(КНИТУ-КАИ, Казань)  
OALedyankina@kai.ru

*Изложены методические основы математического моделирования процесса раскрытия основного парашюта системы спасения самолета нормальной категории в случае возникновения аварийной ситуации. Приведен пример расчета процесса раскрытия реального парашюта и показана возможность его применения для определения действующих на самолет нагрузок.*

**Самолет, парашютные системы спасения, математическое моделирование, нагружение самолета**

## Modeling the Parachute System Deployment for the Rescue System of a Normal Category Airplane

O.A. LEDYANKINA, S.A. MIKHAILOV, AND D.V. NEDEL'KO

*Methodological fundamentals of mathematical modeling for the main parachute of a rescue system for a normal category airplane in an emergency situation are presented. A sample calculation process of a real parachute deployment is described and its applicability is demonstrated for estimation of loads acting on an airplane.*

**Airplane, parachute rescue systems, mathematical modeling, loading of the airplane**

## **Методика расчета силового каркаса пассажирского блока авиационных кресел в виртуальных сертификационных испытани- ях**

**Л.П. ШАБАЛИН,**

канд. техн. наук,

**И.Н. СИДОРОВ,**

д-р физ.-мат. наук,

**В.И. ХАЛИУЛИН,**

д-р техн. наук

(КНИТУ-КАИ, Казань),

**А.В. ГОРЕЛОВ,**

канд. техн. наук

(КНИТУ-КАИ, Чистопольский

филиал «Восток», Чистополь)

leonid.shabalin@gmail.com

*Приведено моделирование блока авиационных кресел при статических и динамических видах нагружения. Методика позволяет оценивать напряженно-деформированное состояние и прочность блока в условиях, соответствующих сертификационным испытаниям пассажирских кресел с учетом энергогасителя (демпфера) и кинематических связей силовых элементов.*

**Силовой каркас, блок авиационных кресел, сертификационные испытания, демпфер, динамическое нагружение**

## **A Technique of Calculating a Load-Bearing Frame of Aircraft Passenger Seat Unit in Virtual Certification Tests**

L.P. SHABALIN, I.N. SIDOROV, V.I. KHALIULIN, AND A.V. GORELOV

*An aircraft seat unit under static and dynamic types of loading is simulated. The technique offers the possibility to determine stressed state and strength of the unit under conditions corresponding to the certification tests of passenger seats. It takes into account the energy absorber (damper) and kinematic connections between load-bearing elements.*

**Load-bearing frame, aircraft seat unit, certification tests, damper, dynamic loading**



# **Сравнительный анализ способов моделирования кинематических соотноше- ний при решении уравнений движения вертолета**

**А.М. ГИРФАНОВ,**  
д-р техн. наук  
(КНИТУ-КАИ, Казань)  
azat.009@mail.ru

*Рассматривается аспект выбора формы моделирования кинематических соотношений, определяющих связывающие угловые скорости вращения твердого тела и углы Эйлера, а также выраженных кватернионами Родрига – Гамильтона.*

**Углы Эйлера, кватернионы, динамика полета, вертолет**

## **Comparative Analysis of Techniques of Modeling Kinematic ic Relations for Solving Helicopter Motion Equations**

A.M. GIRFANOV

*This paper considers an aspect of selecting a technique of modeling kinematic relations that define angular speeds of rigid bodies and Euler angles as well as Rodrigues–Hamilton quaternions.*

**Euler angles, quaternions, flight dynamics, helicopter**

## Робастное управление гиросtabilизатором на скользящих режимах

*Получен метод стабилизации оси оптического прибора по углам тангажа и рыскания на скользящих режимах в условиях нелинейности, нестационарности, перекрестных связей и неинвариантности к неопределенностям. Качество переходных процессов формируется вращениями и смещениями двух плоскостей скольжения относительно начала координат. Точность достигается настройкой параметров управления и уменьшением неопределенности с повышением точности ее идентификации и компенсации.*

**А.С. МЕЩАНОВ,**  
канд. техн. наук,  
**Л.А. ГАТАУЛЛИНА,**  
аспирант  
(КНИТУ-КАИ, Казань)  
mas41@list.ru

**Стабилизация, нелинейности, перекрестные связи, неопределенные возмущения, подвижные плоскости скольжения, процессы, качество**

## Robust Control of a Gyroscopic Stabilizer at Sliding Modes

A.S. MESHCHANOV AND L.A. GATAULLINA

*The method is obtained for the optical device axis stabilization by pitch and yaw angles at sliding modes in the conditions of nonlinearity, unsteadiness, cross-coupled and non-invariance to uncertainties. The quality of transients is formed by rotations and displacements of two sliding planes relative to the origin. Accuracy is achieved by adjusting the control parameters and reducing uncertainty with increasing accuracy of its identification and compensation.*

**Stabilization, nonlinearity, cross coupling, uncertain disturbances, movable surfaces, processes, quality**

**В.В. КОЖЕВНИКОВ**,  
канд. техн. наук,  
**А.Б. НАДИРАДЗЕ**,  
д-р техн. наук,  
**И.П. НАЗАРЕНКО**,  
д-р техн. наук,  
**Ю.Л. ФРОЛОВА**,  
аспирант  
**С.А. ХАРТОВ**,  
д-р техн. наук  
(МАИ, Москва)  
nadiradze@mai.ru

## **Лабораторные исследования струй электроракетных двигателей зондовыми ме- тодами**

*Рассмотрены особенности зондовых измерений параметров плазменных струй электроракетных двигателей в лабораторных условиях. Представлены данные по влиянию давления остаточного газа вакуумной камеры на процессы формирования и распространения плазменных струй электроракетных двигателей.*

**Электроракетный двигатель, плазменная струя, зондовые измерения, давление остаточного газа, требования к вакуумным установкам**

## **Electric Propulsion Thrusters: Laboratory Investigation of Jets by Probe Methods**

V.V. KOZHEVNIKOV, A.B. NADIRADZE, I.P. NAZARENKO,  
YU.L. FROLOVA, AND S.A. KHARTOV

*Features of probe measurements of plasma jet parameters of the electric propulsion thrusters under laboratory conditions are studied. Effect of the pressure of the residual gas in the vacuum chamber onto plasma jet formation and spread are investigated.*

**Electric propulsion thruster, plasma jet, probe measurements, residual gas pressure, requirements for vacuum test facilities**

**В.Г. КРЮКОВ,**  
д-р техн. наук,  
**А.Л. АБДУЛЛИН,**  
д-р техн. наук,  
**М.В. НИКАНДРОВА,**  
канд. техн. наук,  
**И.И. САФИУЛЛИН,**  
аспирант  
(КНИТУ-КАИ, Казань)  
kazan711@yandex.ru

## **Применение методов DRGEP и зацепления для сокращения механизмов реакций при расчете химически неравновесных те- чений**

### **В соплах двигателей летательных аппаратов**

*Рассмотрена процедура сокращения механизма реакций, включающая методы DRGEP и зацепления и применяющаяся к задаче расчета неравновесного течения в сопле продуктов сгорания топлива (керосин + кислород).*

**Сопло, химически неравновесные течения, сокращение механизма реакций**

## **Application of the DRGEP and Engagement Methods to Reduce the Reaction Mechanisms for Calculation of Chemically Non-Equilibrium Flows in Aircraft Engine Nozzles**

V.G. KRYUKOV, A.L. ABDULLIN, M.V. NIKANDROVA, AND I.I. SAFIULLIN

*The procedure of the reaction mechanism reduction including the DRGEP and engagement methods is considered and applied to the problem of calculating the non-equilibrium flows of propellant combustion products (kerosene + oxygen) in nozzles.*

**Nozzle, chemically non-equilibrium flow, reaction mechanism reduction**

**Б.Х. ПЕРЕЛЬШТЕЙН,**  
канд. техн. наук,  
**Б.М. ОСИПОВ,**  
канд. техн. наук  
(КГЭУ, Казань),  
**А.В. ТИТОВ,**  
канд. техн. наук,  
(КГЭУ, Казань)  
perel.boris@gmail.com

## **К вопросу интеграции турбины высокого давления газотурбинного двигателя с газодинамическим лазером**

*Рассматриваются подходы к интеграции суперреактивной турбины высокого давления авиационного газотурбинного двигателя и газодинамического лазера.*

**Авиационный газотурбинный двигатель, суперреактивная турбина, газодинамический лазер, интеграция**

## **Integration of a High-Pressure Gas Turbine of the Gas Turbine Engine with a Gas-Dynamic Laser**

**B.KH. PEREL'SHTEIN, B.M. OSIPOV, AND A.V. TITOV**

*The approaches to integration of a high-pressure super-reaction turbine of an aircraft gas turbine engine and a gas-dynamic laser are considered.*

**Aircraft gas turbine engine, super-reaction turbine, gas-dynamic laser, integration**

## **Оптимальная оценка параметров псевдослучайных сигналов нелинейных динамических систем**

*С целью разработки оптимального приемника для систем широкополосной связи предлагается алгоритм оптимальной оценки параметров псевдослучайных сигналов нелинейных динамических систем. Основой предлагаемого алгоритма является метод максимального правдоподобия, а также представление системы нелинейных динамических уравнений как стохастических дифференциальных уравнений.*

**И.К. НАСЫРОВ,**  
д-р техн. наук,  
**В.В. АНДРЕЕВ,**  
канд. физ.-мат. наук  
(КГЭУ, Казань)  
nasyrovik@mail.ru

**Оценка параметров, псевдослучайные сигналы, нелинейные динамические системы, метод максимального правдоподобия, стохастические дифференциальные уравнения**

## **Optimal Estimation of Parameters of Pseudorandom Signals of Nonlinear Dynamic Systems**

I.K. NASYROV AND V.V. ANDREEV

*In the paper, an algorithm for optimal estimation of the parameters of pseudo-random signals of nonlinear dynamic systems is proposed in order to develop an optimal receiver for broadband systems. The basis of the algorithm being proposed is the maximum likelihood method as well as a presentation of nonlinear dynamic equation system as stochastic differential ones.*

**Optimal estimation of parameters, pseudorandom signals, nonlinear dynamic systems, maximum likelihood method, stochastic differential equations**

**Н.М. СКУЛКИН,**  
д-р техн. наук  
(ПГТУ, Йошкар-Ола),  
**Р.Р. ФАЙЗУЛЛИН,**  
д-р техн. наук,  
**А.А. МАЛЬЦЕВ**  
(КНИТУ-КАИ)  
malcev\_@mail.ru

## **Контроль тепловых параметров светодиодов для систем индикации и освещения бортовой аппаратуры**

*Представлены экспериментальные результаты измерений температуры p-n-перехода сверхярких светодиодов для авиационной техники и оборудования.*

**Светодиоды, надежность, температура p-n-перехода, температурный коэффициент светового потока, сигнал-шум светодиода**

## **Control of the LED Thermal Parameters for Display and Lighting Systems of On-Board Equipment**

N.M. SKULKIN, R.R. FAIZULLIN, AND A.A. MAL'TSEV

*The experimental results of measuring the p-n junction temperature of super bright LEDs for aircraft equipment are presented.*

**LEDs, reliability, p-n junction temperature, temperature coefficient of luminous flux, signal-to-noise of LED**