

## Прогнозирование технического состояния агрегатов винтокрылых летательных аппаратов на основе нейросетевого моделирования

*Представлен инновационный методический подход с применением искусственных нейронных сетей для повышения качества диагностики и объективности прогнозирования технического состояния агрегатов винтокрылых летательных аппаратов. Для получения набора данных оценки состояния при эксплуатации сформирован перечень входных параметров рабочего и дефектного режимов при разбалансировке, определены места установки датчиков. Разработан общий алгоритм применения искусственных нейронных сетей как инструмента мониторинга и анализа технического состояния винтокрылых летательных аппаратов. Предложена модель процесса (механизма) оценки технического состояния винтокрылых летательных аппаратов с целью дальнейшего проведения математического моделирования на базе программы анализа данных моделирования и построения имитационной модели процесса технического обслуживания винтокрылых летательных аппаратов. Апробация инновационной методики проводилась на примере вала трансмиссии винтокрылых летательных аппаратов.*

**А.Б. БЕЛЬСКИЙ**,  
д-р техн. наук,  
**О.А. ЕСИПОВИЧ**,  
аспирант,  
**Б.Б. САФОКЛОВ**  
(МАИ, Москва)  
safoklovbb@mai.ru

**Винтокрылый летательный аппарат, вертолетная техника, трансмиссия, искусственная нейронная сеть, функциональная модель, математическое моделирование, имитационная модель**

## Forecasting the Technical Condition of Rotorcraft Units Based on Neural Network Modeling

A.B. BEL'SKII, O.A. ESIPOVICH, AND B.B. SAFOKLOV

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

*The paper presents an innovative methodological approach using artificial neural networks to improve the quality of diagnostics and the objectivity of forecasting the technical condition of rotorcraft units. To obtain a set of data for assessing the condition during operation, a list of input parameters of the operating and defective mode during imbalance was formed, locations for the sensors installation were determined. A general algorithm was developed for the use of artificial neural networks as a tool for monitoring and analyzing the technical condition of the rotorcraft. A model of the process (mechanism) for assessing the technical condition of the rotorcraft is proposed for further mathematical modeling based on the SIMULATION DATA analysis program and building a simulation model of the rotorcraft maintenance, repair, and overhaul process. The testing of the innovative technique was carried out using the example of the rotorcraft transmission shaft.*

**Rotorcraft, helicopter technology, transmission, artificial neural network, functional model, mathematical modeling, simulation model**

**Влияние подвижности топлива в баках  
на усталостные характеристики  
элементов конструкции крыла  
тяжелого транспортного самолета**

**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

*Проведена оценка усталостных характеристик элементов конструкции крыла тяжелого транспортного самолета с помощью математической модели аэроупругости самолета с учетом подвижности топлива в крыльевых топливных баках. Показана принципиальная возможность использования динамических и диссипативных свойств подвижного топлива для снижения уровня усталостной повреждаемости элементов конструкции крыла в эксплуатации. Представлены результаты расчета для самолета Ан-124.*

**Аэроупругость, колебания крыла, подвижность топлива, усталостные характеристики**

**The Impact of Fuel Fluidity in Tanks on the Fatigue Characteristics  
of Wing Structures of Heavy Transport Aircraft**

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, Moscow

*The fatigue characteristics of wing structural elements of a heavy transport aircraft are evaluated using a mathematical model of the aircraft aeroelasticity, taking into account the fuel fluidity in the wing fuel tanks. The basic possibility is demonstrated of using the dynamic and dissipative properties of mobile fuel to reduce the level of fatigue damage of wing structural elements during operation. The results of calculations for the An-124 aircraft are presented.*

**Aeroelasticity, wing oscillation, fuel fluidity, fatigue characteristics**

## **Изучение закономерностей механического поведения слоисто-волокнистых полимерных композитов в условиях предварительных ударных и последующих квазистатических и циклических воздействий**

*Проведена оценка влияния динамических воздействий на остаточную прочность и усталостную долговечность композиционных слоисто-волокнистых перекрестно-армированных углепластиков. Построены кривые усталостной чувствительности и скорости роста поврежденности, определены границы стадий накопления повреждений. Выполнено изучение процессов накопления повреждений и разрушения на основе использования системы регистрации сигналов акустической эмиссии.*

**О.А. СТАРОВЕРОВ,**

*канд. техн. наук,*

**А.И. МУГАТАРОВ,**

**Е.А. ЧЕБОТАРЕВА**

*(ПНИПУ, Пермь)*

*sem\_staroverov@mail.ru*

**Композиты, комплексное воздействие, концентраторы напряжений, накопление повреждений, предварительный удар, остаточная прочность, остаточная долговечность, акустическая эмиссия**

## **Studying the Regularities of Mechanical Behavior of Fiber Reinforced Plastic Composites under Preliminary Impact and Subsequent Quasi-Static and Cyclic Loads**

O.A. STAROVEROV, A.I. MUGATAROV, AND E.A. CHEBOTAREVA

Perm National Research Polytechnic University, Perm

*The influence of dynamic loads on residual strength and fatigue life of cross-ply carbon fiber reinforced plastic composites was analyzed. Curves of fatigue sensitivity and damage growth rate were constructed, the limits of damage accumulation stages were determined. Damage accumulation and fracture processes were studied on the basis of an acoustic emission signal registration system.*

**Composites, complex loading, stress concentrators, damage accumulation, preliminary impact, residual strength, residual durability, acoustic emission**

## **Метод Канторовича – Власова для проектировочной оценки прочности тонкостенных конструкций**

*Рассматриваются принципиальные вопросы применения метода Канторовича – Власова для начальной проектировочной оценки прочности тонкостенных крыльевых и фюзеляжных конструкций в конечно-элементной формулировке. Построен алгоритм многоуровневой оценки напряженно-деформированного состояния, содержащий решение задачи простых моделей с возможностью последующего уточнения решения. Рассмотрены числовые примеры расчета композитных конструкций, в которых проведено сравнение результатов с методом конечных элементов и аналитическим методом.*

**П.А. ШАТАЕВ,  
А.С. КРЕТОВ,**  
д-р техн. наук  
(МАИ, Москва)  
kretov-ac@mail.ru

**Прочность, проектировочная оценка, многоуровневая постановка, числовые примеры, верификация результатов**

## **The Kantorovich–Vlasov Method for Design Estimation of the Strength of Thin-Walled Structures**

P.A. SHATAEV AND A.S. KRETOV

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

*The paper discusses the fundamental issues of applying the Kantorovich–Vlasov method for the initial design estimation of the strength of thin-walled wing and fuselage structures in a finite element formulation. The approach used allows us to build a multilevel stress-strain state estimation algorithm, starting with the simplest models, including a beam model, and to refine the solution. Numerical examples of calculation of composite structures are considered, in which the results are compared with the finite element and the analytical methods.*

**Strength, design estimation, multilevel formulation, numerical examples, result verification**

## Моделирование динамики процесса отделения конструкций с учетом их упругих свойств

**В.Н. БАКУЛИН**,  
канд. техн. наук  
(ИПРИМ РАН, Москва),  
**С.В. BORZYKH**,  
д-р техн. наук  
(ПАО «РКК “Энергия”  
им. С.П. Королева),  
Королев)  
vbak@yandex.ru

*Рассмотрен подход к исследованию влияния упругих свойств ракетно-космических конструкций на их относительное движение при разделении. На основании допущений, характерных для исследуемого процесса, разработана модель, допускающая наглядную механическую интерпретацию: полное движение, при разделении распадающееся на переносное движение (вращательное и поступательное по твердым формам), и малые упругие относительные колебания, описываемые в универсальной модальной формулировке. Приведены рекомендации, позволившие практически полностью исключить проблемы, связанные с упругими колебаниями при разделении.*

**Ракетно-космические конструкции, динамика процесса отделения, учет упругих свойств**

## Modeling the Dynamics of the Separation Process of Structures Taking into Account Their Elastic Properties

V.N. BAKULIN<sup>1</sup> AND S.V. BORZYKH<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Applied Mechanics, Russian Academy of Sciences, Moscow

<sup>2</sup> PAO S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energiya, Korolev

*The paper considers an approach to studying the influence of elastic properties of rocket and space structures on their relative motion during separation. Based on the assumptions characteristic of the process under study, a model is developed that allows for a visual mechanical interpretation: the total motion is decomposed during separation into a portable motion (rotational and translational in solid forms) and small elastic relative vibrations described in a universal modal formulation. Recommendations are given that made it possible to almost completely eliminate the problems associated with elastic vibrations during separation.*

**Rocket and space structures, dynamics of the separation process, accounting for elastic properties**

## Оценка применимости абляционного теплозащитного покрытия для ракеты-носителя сверхлегкого класса

**С.Д. ВАУЛИН,**  
д-р техн. наук,  
**П.А. ТРЕТЬЯКОВ,**  
**Р.А. ПЕШКОВ,**  
канд. техн. наук,  
**Е.А. МИХАЙЛОВ**  
(ЮУрГУ, Челябинск)  
mikhailovea@susu.ru

*Сформирована математическая модель уноса массы теплозащитного покрытия для определения необходимой толщины теплозащитного покрытия в условиях полного торможения газодинамического потока на поверхности покрытия. Определен максимальный линейный унос массы теплозащитного покрытия, необходимая толщина теплозащитного покрытия в точке полного торможения. Выявлено направление повышения точности математической модели уноса массы теплозащитного покрытия и уменьшения количества допущений, принятых в расчете.*

**Унос массы, математическая модель, абляционные материалы, теплозащитное покрытие**

## Assessing the Applicability of Ablative Thermal Protection Coating for an Ultralight Launch Vehicle

S.D. VAULIN, P.A. TRET'YAKOV, R.A. PESHKOV, AND E.A. MIKHAILOV

South Ural State University, Chelyabinsk

*A mathematical model of the heat protective coating mass ablation is formed to determine the necessary thickness of the coating under conditions of total stagnation of the gas-dynamic flow on the coating surface. The maximal linear loss of heat protective coating mass and the necessary thickness of the coating at the total stagnation point were determined. A line was revealed to improve the accuracy of the mathematical model of the heat protective coating mass loss and reduce the number of assumptions adopted in the calculation.*

**Mass ablation, mathematical model, ablative materials, heat protective coating**

## Оценка работоспособности алгоритма позиционирования беспилотного летательного аппарата относительно движущейся платформы с использованием компьютерного зрения

*Рассматривается способ определения углового положения беспилотного летательного аппарата самолетного или вертолетного типа относительно посадочной платформы морского базирования со специальными оптическими метками. Оценивается точность измерения в зависимости от расстояния до посадочной платформы с использованием специально разработанной оптической системы на базе цифровой видеокамеры и комбинации различных по геометрическим размерам групп оптических меток на посадочной платформе, выполненных в виде монохромного квадрата и треугольника с разными размерами сторон. Проводится оценка возможности вычисления углового положения, высоты и расстояния до посадочной платформы в реальном времени на основе обработки изображения с бортовой оптической камеры. Проведены вычислительные эксперименты по моделированию положения аппарата относительно движущейся посадочной платформы, демонстрирующие высокую эффективность предложенного метода.*

**Т.Ю. ГАЙНУТДИНОВА**,  
канд. техн. наук,  
**С.В. НОВИКОВА**,  
д-р техн. наук,  
**В.Г. ГАЙНУТДИНОВ**,  
д-р техн. наук,  
**Н.В. ЛЕВШОНКОВ**,  
канд. техн. наук  
(КНИТУ-КАИ, Казань)  
gainut@mail.ru

**Беспилотные летательные аппараты, компьютерное зрение, посадка по оптическим меткам**

## Assessing the Performance of the Algorithm for Positioning an Unmanned Aerial Vehicle Relative to a Moving Platform Using the Computer Vision

T.YU. GAINUTDINOVA, S.V. NOVIKOVA, V.G. GAINUTDINOV,  
AND N.V. LEVSHONKOV

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

*A method for determining the angular position of an unmanned aircraft-type or helicopter-type aerial vehicle relative to a sea-based landing platform with special optical marks, is considered. The measurement accuracy is assessed depending on the distance to the landing platform using a specially developed optical system based on a digital video camera and a combination of groups of optical marks of different geometric sizes on the landing platform, which are made in the form of a monochrome square and a triangle with different side sizes. An assessment is made of the possibility of calculating the angular position, altitude, and distance to the landing platform in real time mode based on processing the image from an onboard optical camera. Computational experiments conducted to simulate the position of the vehicle relative to a moving landing platform demonstrate the high efficiency of the method being proposed.*

**Unmanned aerial vehicles, computer vision, landing using optical marks**

## **Исследование и перспективы применения токопроводящих конструкционных частей рефлектора в целях оптимизирования энергоинформационного обеспечения системы управления формой радиоотражающей поверхности**

**Ю.В. КОНОПЛЕВ,**  
**А.Д. ШИРШОВ,**  
**А.А. ЮЕВ**  
(БГТУ «ВОЕНМЕХ  
им. Д.Ф. Устинова»,  
Санкт-Петербург)  
urzig\_eastwood@mail.ru

*Рассмотрены современные методы воздействия на качество параметров приемопередающего тракта космических антенных систем, в частности, управлением формой радиоотражающей поверхности рефлектора. Предложен и описан способ оптимизирования энергоинформационного обеспечения системы управления формой радиоотражающей поверхности посредством токопроводящих конструкционных частей рефлектора.*

**Рефлектор, трансформируемые космические конструкции, привод, исполнительное устройство, энергообеспечение, передача информации, управление, алгоритм**

## **Research and Prospects of Application of Current-Conducting Structural Parts of the Reflector for Optimization of the Energy-Information Support of the Radio-Reflective Surface Shape Control System**

YU.V. KONOPLEV, A.D. SHIRSHOV, AND A.A. YUEV

Baltic State Technical University "Voenmeh", Saint Petersburg

*Modern methods of influencing the quality of parameters of the receiving and transmitting path of space antenna systems, in particular, by controlling the shape of the radio reflective surface of the reflector, are considered. A method for optimizing the energy-information support of the radio-reflecting surface shape control system by engaging the current-conducting structural parts of the reflector is proposed and described.*

**Reflector, transformable space structures, drive, actuator, power supply, information transfer, control, algorithm**



**Анализ циркуляции концевой вихря  
воздушного винта в ближнем поле**

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

*Рассматривается численное моделирование обтекания воздушного винта на режиме работы на месте при различной скорости вращения винта. На основании численного моделирования проведен анализ изменения циркуляции концевой вихря воздушного винта в ближнем поле.*

**Воздушный винт, концевой вихрь, циркуляция**

**Analysis of Rotor Tip Vortex Circulation in the Near Field**

A.S. BATRAKOV AND L.I. GARIPOVA

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

*The numerical modeling of the flow around a rotor in the in-situ operating mode at different rotation speeds, is considered. Based on the numerical modeling, an analysis of changes in the circulation of the rotor tip vortex in the near field, was carried out.*

**Rotor, tip vortex, circulation**

**П.В. БУЛАТ,**  
д-р физ.-мат. наук,  
канд. экон. наук  
(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),  
**П.С. ЧЕРНЫШОВ,**  
аспирант  
(БГТУ «ВОЕНМЕХ»  
им. Д.Ф. Устинова,  
Санкт-Петербург;  
ФГАОУ ВО «Севастопольский  
государственный  
университет», Севастополь)  
pashachp8@gmail.com

## **Влияние радиального зазора между кольцом и законцовками винта на характеристики винтокольцевого движителя**

*Исследуется влияние зазора между законцовками винта и внутренней стенкой кольца на тягу и располагаемую мощность винтокольцевого движителя. Анализируется структура вихревого течения в тонком зазоре между торцевой поверхностью лопастей воздушного винта и воздушным кольцом винтокольцевого движителя, а также особенности обтекания лопастей воздушного винта на режимах форсирования.*

**Винт, винтокольцевой движитель, вихрь, движитель, зазор, численное моделирование**

## **Effect of Radial Gap between the Ring and Propeller Tips on the Performance of a Ducted Propeller**

P.V. BULAT<sup>1,2</sup>, P.N. KUZNETSOV<sup>2</sup>, AND P.S. CHERNYSHOV<sup>1,2</sup>

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

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

*The effect of the gap between the propeller tips and the inner wall of the duct ring on the thrust and available capacity of the ducted propeller propulsion system is investigated. The structure of vortex flow in a thin gap between the end surface of the propeller blades and the air ring of the ducted propeller propulsor is analyzed, as well as the features of the propeller blades flow at boost modes.*

**Propeller, ducted propeller, vortex, propulsion, gap, numerical modeling**

**Д.И. ЗАРИПОВ,**  
д-р физ.-мат. наук  
(Институт теплофизики  
им. С.С. Кутателадзе  
СО РАН, Новосибирск;  
Институт энергетики  
и перспективных технологий  
ФИЦ КазНЦ РАН, Казань;  
КФУ, Казань),  
**В.А. ИВАЩЕНКО**  
(Институт теплофизики  
им. С.С. Кутателадзе  
СО РАН, Новосибирск),  
**С.А. ПАНТЕЛЕЕВ,**  
**А.А. ЛУКЬЯНОВ,**  
**Р.И. МУЛЛЯДЖАНОВ,**  
д-р физ.-мат. наук  
(Институт теплофизики  
им. С.С. Кутателадзе  
СО РАН, Новосибирск;  
НГУ, Новосибирск)  
zaripov.d.i@gmail.com

## Прямое численное моделирование ламинаризации турбулентного течения в цилиндрической трубе при $Re = 5000$

Проводится прямое численное моделирование процесса ламинаризации развитого турбулентного течения в цилиндрической трубе. Рассматривается несколько конфигураций модельных устройств-ламинаризаторов. На примере одного из устройств продемонстрирована возможность формирования ламинарного течения вниз по потоку от этого устройства. Показано, что данное течение отличается от течения Пуазейля, характеризующегося параболическим профилем скорости, и имеет нулевые значения скорости диссипации и генерации кинетической энергии турбулентности, при этом полное подавление пульсаций скорости в занимаемом устройством объеме оказалось необязательным условием.

**Течение в трубе, турбулентное течение, ламинаризация, прямое численное моделирование**

## Direct Numerical Simulation of the Turbulent Flow Laminarization in a Pipe at $Re = 5000$

D.I. ZARIPOV<sup>1,2,3</sup>, V.A. IVASHCHENKO<sup>1</sup>, S.A. PANTELEEV<sup>1,4</sup>,  
A.A. LUK'YANOV<sup>1,4</sup>, AND R.I. MULLYADZHANOV<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Institute of Thermophysics SB RAS, Novosibirsk

<sup>2</sup> Institute of Power Engineering and Advanced Technologies, FRC KazSC RAS, Kazan

<sup>3</sup> Kazan Federal University, Kazan

<sup>4</sup> Novosibirsk State University, Novosibirsk

*In this paper, an attempt is made to carry out the direct numerical simulation of the laminarization process of a developed turbulent flow in a pipe. Several configurations of laminarization devices are considered. Using one of the devices as an example, the possibility of forming a laminar flow downstream from this device is demonstrated. The observed flow turns out to be different from the Poiseuille flow, which is characterized by a parabolic velocity profile. It is shown that the flow downstream from the device under consideration is characterized by zero values of the turbulence kinetic energy production and dissipation rate. At the same time, a complete suppression of velocity pulsations in the volume occupied by the device turned out to be not a necessary condition.*

**Pipe flow, turbulent flow, laminarization, direct numerical simulation**

## **Анализ выходной решетки системы кондиционирования современного маневренного самолета**

**И.В. КАРПОВ,**  
студент,  
**И.О. БОБАРИКА,**  
канд. техн. наук  
(ИРНИТУ, Иркутск)  
karpovivann@mail.ru  
bobarika\_io@ex.istu.edu

*Проведен анализ собственных частот колебаний выходной решетки системы кондиционирования при использовании реальной модели решетки системы кондиционирования и видоизмененной модели решетки без отверстий. Сравниваются различные уровни разбиения сетки, а также тетраэдральная и гексагональная формы конечного элемента. Проведен гидрогазодинамический анализ выходной решетки системы кондиционирования.*

**Выходная решетка системы кондиционирования, конечно-элементная сетка, собственная частота, гидрогазодинамический анализ**

## **Analysis of the Outlet Lattice of the Air Conditioning System of a Modern Maneuverable Aircraft**

I.V. KARPOV AND I.O. BOBARIKA

INRTU, Irkutsk

*The analysis of the natural oscillation frequencies of the outlet lattice of the air conditioning system is carried out using a real model of the lattice of the air conditioning system and a modified model of the lattice without holes. Different levels of mesh partitioning are compared, as well as the “tetrahedral” and “hexagonal” shapes of the finite element. A hydro-gas dynamic analysis of the outlet lattice of the air conditioning system was carried out.*

**Air conditioning system outlet lattice, finite element mesh, natural frequency oscillation, hydro-gas dynamic analysis**

## **Расчет обтекания кромки тонкой пластины высокоскоростным потоком с использованием модели Навье – Стокса – Фурье и модельного кинетического уравнения**

**Ю.А. НИКИТЧЕНКО,**  
д-р физ.-мат. наук,  
**Е.Э. КРАСАВИН,**  
аспирант  
(МАИ, Москва)  
krasavin.ieghor@mail.ru

*Рассмотрена задача обтекания абсолютно острой кромки высокоскоростным потоком. Решение проводилось с использованием модельного кинетического уравнения многоатомных газов и модели Навье – Стокса – Фурье. Описан метод решения задачи. Рассчитано распределение параметров газа поверхности пластины и над ней. Анализируются параметры газа в окрестности острой кромки. Проведена оценка области применимости модели Навье – Стокса – Фурье для решения этой задачи по числам Маха.*

**Острая кромка, кинетическое уравнение, модель Навье – Стокса – Фурье, высокоскоростное течение**

## **Calculation of High-Speed Flow Past a Thin Plate Edge Using the Navier–Stokes–Fourier Model and Model Kinetic Equation**

YU.A. NIKITCHENKO AND E.E. KRASAVIN

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

*The paper considers the problem of high-velocity flow past a perfectly sharp edge. The solution was carried out using the model kinetic equation for polyatomic gases and the Navier–Stokes–Fourier model. The method of solving the problem is described. The distribution of gas parameters is calculated on the plate surface and above it. Gas parameters are analyzed near the sharp edge. The Navier–Stokes–Fourier model application area for the solution of this problem in terms of Mach numbers is evaluated.*

**Sharp edge, kinetic equation, Navier–Stokes–Fourier model, high-velocity flow**

## Экстремальные соотношения скоростных напоров за стационарными маховскими конфигурациями бегущих ударных волн

**М.В. ЧЕРНЫШОВ,**  
д-р техн. наук,  
**К.Э. САВЕЛОВА,**  
аспирант  
(БГТУ «ВОЕНМЕХ»  
им. Д.Ф. Устинова,  
Санкт-Петербург)  
mvcher@mail.ru

Анализируются параметры потоков за тройной конфигурацией ударных волн, образующейся при маховском отражении, с прямой главной волной (так называемой стационарной маховской конфигурацией). При этом предполагается, что стационарная маховская конфигурация перемещается во встречном потоке, имеющем произвольную скорость (или число Маха). На примере отношения скоростных напоров на сторонах контактного разрыва, исходящего из тройной точки маховского отражения, показано заметное различие спутных потоков за тройной конфигурацией по степени трансляционного воздействия на окружающие объекты.

**Ударные волны, тройная конфигурация, маховское отражение, взрывобезопасность**

## Extreme Relations of the Dynamical Pressures Downstream the Stationary Mach Configuration of Running Shock Waves

M.V. CHERNYSHOV AND K.E. SAVELOVA

Baltic State Technical University "Voenmeh", Saint Petersburg

*The paper analyzes the parameters of gas streams after the triple-shock configuration, which forms in Mach reflection with normal Mach shock (so-called stationary Mach configuration). We suppose that this stationary Mach configuration moves in a counter flow with arbitrary velocity (or Mach number). Analyzing the relation of dynamical pressures across the contact discontinuity, which issues from the triple point of the Mach reflection, we have shown that the streams after the triple-shock configuration differs much in their translational action of surrounding objects.*

**Shock waves, triple configurations, Mach reflection, blast safety**

## Перевод авиационной камеры сгорания с двухъярусным расположением форсунок на природный газ

*Представлены особенности перевода авиационной камеры сгорания с двухъярусным расположением форсунок на природный газ. Рассмотрены особенности конструкции авиационной камеры сгорания и камеры сгорания, переведенной на природный газ. Приведены элементы конструкции, которые подверглись изменению. Обоснованы изменения конструкции для обеспечения работы на природном газе.*

**А.В. БАКЛАНОВ,**  
канд. техн. наук  
(АО «КМПО», Казань)  
andreybaklanov@bk.ru

**Камера сгорания, газообразное топливо, форсунка, процессы горения**

## Conversion of the Aircraft Combustion Chamber with Two-Level Arrangement of Injectors to Natural Gas

A.V. BAKLANOV

Kazan Motor-Building Production Association, Kazan

*The paper considers the conversion of an aircraft combustion chamber with a two-level arrangement of injectors to natural gas. The design features of the aircraft combustion chamber and the combustion chamber using the natural gas are considered. The structural elements that have been modified are given. A design changes for ensuring operation on natural gas are rationalized.*

**Combustion chamber, gaseous fuel, injector, burning processes**

## К вопросу выбора методики моделирования рабочего процесса малоразмерного газотурбинного двигателя

**В.В. ВЯТКОВ**,  
канд. техн. наук,  
**А.А. ДАВЫДОВ**,  
студент,  
**Н.Н. КОВАЛЕВА**,  
канд. техн. наук,  
**А.М. ТОЩАКОВ**,  
канд. техн. наук  
(РГАТУ им. П.А. Соловьева,  
Рыбинск)  
vvvad76@mail.ru

*Анализируются различные подходы к моделированию рабочего процесса при проектировании малоразмерного газотурбинного двигателя с точки зрения создания расчетной модели проточной части. Традиционный подход, когда двигатель разделяется на отдельные узлы, сравнивается с моделированием при разбиении двигателя на расчетные модули и сквозным моделированием, когда характеристики проточной части двигателя определяются в одной расчетной модели. Показано, что тип методики моделирования с точки зрения формирования расчетных моделей определяет результаты с точки зрения газодинамических параметров двигателя.*

**Газотурбинный двигатель, численное моделирование, расчетные модели**

## Selection of Numerical Simulation Methodology for the Small-Size Gas-Turbine Engine Cycle

V.V. VYATKOV, A.A. DAVYDOV, N.N. KOVALEVA, AND A.M. TOSHCHAKOV

P.A. Soloviev Rybinsk State Aviation Technical University, Rybinsk

*The paper analyzes different approaches to the gas-turbine engine cycle simulation while designing the computation model of the small-size gas-turbine engine flow path. A conventional approach, when the engine is separated into the single units, is compared with a simulation, when it is separated into modules, and with the end-to-end simulation, when all gas-turbine engine flow path characteristics are defined in one computation model. It is shown that the type of simulation methodology in terms of computation model formation determines the results in terms of gas-dynamic parameters of the engine.*

**Gas-turbine engine, numerical simulation, computation models**



## Методы и средства оценки эффективности систем зажигания с полупроводниковыми свечами в составе авиационных двигателей

Представлены разработки, связанные с оценкой и обеспечением различных показателей эффективности емкостных систем зажигания с полупроводниковыми свечами. Приведена структура информационно-измерительной системы для анализа составляющих энерговыделения в полупроводниковых свечах при использовании в газотурбинных двигателях и на испытательных стендах. Описаны возможности разработанного метода оценки влияния подготовительной и искровой стадий разряда в свечах на износ конструктивных элементов свечей. Приведена структура устройства контроля времени задержки воспламенения топливной смеси в камерах сгорания двигателей по отношению к моменту образования искровых разрядов в полупроводниковых свечах для использования при доводке двигателей. Определяются причины нестабильности запусков двигателей в эксплуатации.

**Ф.А. ГИЗАТУЛЛИН**,  
д-р техн. наук,  
**З.Г. ГАБИДУЛЛИНА**,  
канд. техн. наук  
(УУНУТ, Уфа)  
gabidullina.zg@ugatu.su

**Емкостная система зажигания, полупроводниковая свеча, измерители энергии, измеритель времени задержки**

## Methods and Means of Estimating the Efficiency of Ignition Systems with Semiconductor Plugs in Aircraft Engines

F.A. GIZATULLIN AND Z.G. GABIDULLINA

UUST, Ufa

*The paper presents developments related to the estimation and provision of various performance factors of capacitive ignition systems with semiconductor plugs. The structure of the information-measuring system for analyzing the components of energy release in semiconductor plugs, when used in gas-turbine engines and on test benches, is given. The possibilities of the developed method for estimating the influence of preparatory and spark stages of discharge in plugs on the wear of structural elements of plugs are described. The structure is given of a device for controlling the time delay of fuel mixture ignition in the engine combustion chambers in relation to the moment of spark discharge formation in semiconductor plugs to be used in engine development. The causes of unstable engine starts in operation are determined.*

**Capacitive ignition system, semiconductor spark plug, energy meters, delay time meter**

**И.Ш. ХАБРИЕВ,**  
канд. техн. наук,  
**В.Ф. ХАЙРУТДИНОВ,**

д-р техн. наук  
(КНИТУ, Казань;  
Инженерно-внедренческий  
центр «Инжсехим», Казань),

**Р.М. ХУЗАХАНОВ,**  
д-р техн. наук,

**Р.М. ГАРИПОВ,**  
д-р хим. наук,

**А.Н. ИБАТУЛЛИН,**  
аспирант  
(КНИТУ, Казань)  
termi0@yandex.ru

## Получение композиционного материала из термодинамически несовместимых полимеров – поликарбоната и полиэтилентерефталата – в процессе диспергирования по методу SEDS

Представлены результаты экспериментального исследования фазового равновесия системы диоксид углерода – *N*-метилпирролидон/хлороформ на изотермах 313, 15, 333,15 К в диапазоне давлений 0,98...11,91 МПа. Представлены результаты совместного диспергирования полимерных смесей поликарбоната и полиэтилентерефталата, осуществленного в диапазоне давлений 9...20 МПа при температурах 313–353 К с использованием метода SEDS. Исследована кинетика кристаллизации и превращения фаз в смесях полимеров, полученных смешением в расплаве и с использованием метода SEDS.

**Поликарбонат, полиэтилентерефталат, диспергирование, сверхкритический диоксид углерода, метод SEDS, композиты**

## Obtaining a Composite Material from Thermodynamically Incompatible Polycarbonate and Polyethylene Terephthalate Polymers in the Process of Dispersion Using the SEDS Method

I.SH. KHABRIEV<sup>1,2</sup>, V.F. KHAIRUTDINOV<sup>1,2</sup>, R.M. KHUZAKHANOV<sup>1</sup>,  
R.M. GARIPOV<sup>1</sup>, AND A.N. IBATULLIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kazan National Research Technological University, Kazan

<sup>2</sup> Engineering and Implementation Center "Inzhexhim", Kazan

*The paper presents the results of the experimental study of the phase equilibrium of the "CO<sub>2</sub> – N-methylpyrrolidone / chloroform" system (the ratio of organic solvents is 50 to 50% wt.) on isotherms 313.15 and 333.15 K in a pressure range of 0.98 – 11.91 MPa. The results of joint dispersion of polymer mixtures of polycarbonate and polyethylene terephthalate, carried out in a pressure range of 9–20 MPa at temperatures of 313–353 K using the SEDS method, are presented. The kinetics of crystallization and phase transformation in polymer mixtures obtained by mixing in a melt and using the SEDS method is studied.*

**Polycarbonate, polyethylene terephthalate, dispersion, supercritical carbon dioxide, SEDS method, composites**

# Cessna 172 G1000 Aircraft Airfoil Optimization Using Particle Swarm Optimization Method Applying a Direct Airfoil Design Approach to Obtain Maximum Lift-to-Drag Ratio

*The paper focuses on optimizing the airfoil shape for the Cessna 172 R G1000 training aircraft in order to get the best lift-to-drag ratio without increasing the applied wing current aerodynamics moment. In order to achieve good aerodynamic performance, a swarm-based approach with shape parametrization is used. Particle swarm optimization is used to examine the optimal solution through evolution, whereas XFOIL is used as the main flow field solver. Airfoils are generated continuously using B-splines airfoil parametrizing based on the criteria of the particle swarm optimization algorithm until the desired target has been achieved. After the algorithm has attained the desired goal, more shape smoothing is required, which is accomplished using XFOIL. Finally, ANSYS Fluent and a  $k-\epsilon$  solver are used to test the airfoil. The major emphasis of the flow simulation is to see if there is flow separation at higher angles of attack and to see if XFOIL results in a more robust solver. Even in a very limited space, the data show a 15% increase in lift-to-drag ratio in cruise settings.*

**DINKU SEYOUM ZELEKE,**  
**ABDUREHMAN YIMER**  
**ASFAW,**  
**BETHEL LEMMA BIZUNEH,**  
**LEUL WALELIGN MICHAEL**  
(Addis Ababa Science  
and Technology University,  
Addis Ababa, Ethiopia)  
dinku.seyoum@aastu.edu.et

**Particle swarm optimization, XFOIL, b-spline, lift-to-drag ratio**

## Особенности процесса функционирования двигателя реактивного пенетратора для движения в плотных грунтах

**Е.В. ГУСЕВ**,  
канд. техн. наук,  
**В.А. ЗАГОВОРЧЕВ**,  
канд. техн. наук,  
**П.Ф. ПРОНИНА**,  
**В.В. РОДЧЕНКО**,  
д-р техн. наук,  
**Э.Р. САДРЕТДИНОВА**,  
канд. техн. наук  
(МАИ, Москва)  
pronina-p19.94@yandex.ru

*Проанализированы ракетные двигатели на твердом топливе с высоким рабочим давлением в камере сгорания. Рассмотрены вопросы саморегулирования давления при горении топлива в камере сгорания и организация работы ракетного двигателя на твердом топливе при высоком давлении в камере сгорания. Получены зависимости между основными параметрами ракетного двигателя на твердом топливе и характеристиками заряда. Представлена принципиальная конструктивная схема пенетратора с воспламенительным устройством, обеспечивающая максимальную глубину проникания в плотный грунт.*

**Пенетратор, движение в плотном грунте, давление в камере сгорания**

## Features of the Functioning Process of the Jet Penetrator Engine for Movement in Dense Soils

E.V. GUSEV, V.A. ZAGOVORCHEV, P.F. PRONINA, V.V. RODCHENKO,  
AND E.R. SADRETDINOVA

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

*The paper analyzes solid propellant rocket engines with high operating pressure in the combustion chamber. The issues are considered of self-regulation of pressure during propellant combustion in the combustion chamber and the organization of a solid propellant rocket engine operation at a high pressure in the combustion chamber. The relationships between the main parameters of a solid propellant rocket engine and the characteristics of the charge were obtained. A basic design diagram of the penetrator with an ignition device is presented that provides the maximum depth of penetration into a dense soil.*

**Penetrator, movement in a dense soil, pressure in the combustion chamber**

**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

## Оптимизация размещения и конструкции цилиндрического устройства подготовки потока

*Экспериментально проверена гипотеза о влиянии длины камеры смешения в цилиндрическом устройстве подготовки потока на форму профилей скорости в пост-включенном участке трубопровода. Определены параметры сборки, состоящей из цилиндрического устройства подготовки потока и участка трубопровода до расходомерного устройства, с точки зрения ее компактности.*

**Сопло, калибровка, измерение расхода, профиль скорости, искажение течения**

## Optimizing the Location and Design of the Cylindrical Flow Conditioner

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

FRC KazSC RAS, Kazan

*The paper elaborates on experimental testing of the effect of the mixing chamber length of the cylindrical flow conditioner on the shape of velocity profiles in the downstream pipeline section. The study estimates the parameters of the assembly consisting of the cylindrical flow conditioner and the pipe section connecting it to the flow meter from the standpoint of its compactness.*

**Nozzle, calibration, flow metering, velocity profile, flow distortion**

## Гидродинамика и теплообмен в щелевых каналах с перспективными поверхностными интенсификаторами

**С.А. ИСАЕВ,**  
д-р техн. наук  
(СПбГУ ГА,  
Санкт-Петербург),  
**Ю.Ф. ГОРТЫШОВ,**

д-р техн. наук,

**И.А. ПОПОВ,**

д-р техн. наук,

**А.А. МИРОНОВ,**

**А.В. ЩЕЛЧКОВ,**

д-р техн. наук

(КНИТУ-КАИ, Казань)

popov-igor-alex@yandex.ru

Представлены результаты численного моделирования процессов теплоотдачи и гидродинамики в щелевых каналах с поверхностными интенсификаторами новой формы – выемки в форме бумеранга. Проведен сравнительный анализ теплогидравлической эффективности рассматриваемого интенсификатора при различных соотношениях геометрических параметров, позволивший определить рациональные геометрические параметры интенсификатора. Показана высокая эффективность рассматриваемого поверхностного интенсификатора по сравнению с овально-траншейной выемкой.

**Системы охлаждения, лопатки газовых турбин, поверхностный вихрегенератор, теплоотдача, теплогидравлическая эффективность**

## Heat Transfer and Flow in Slot Channels with Promising Surface Intensifiers

S.A. ISAEV<sup>1</sup>, YU.F. GORTYSHOV<sup>2</sup>, I.A. POPOV<sup>2</sup>, A.A. MIRONOV<sup>2</sup>,  
AND A.V. SHCHELCHKOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University of Civil Aviation, Saint Petersburg

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

*The paper presents the numerical simulation results of heat transfer and flow in slot channels with surface intensifiers of new shape—a dimple shaped as a boomerang or an arc. The comparative analysis of thermal and hydraulic performance of an intensifier under consideration is carried out for different geometric parameter ratios allowed determining the rational geometric parameters of an intensifier. It is shown that the thermal and hydraulic performance of a considered surface intensifier is high in comparison to that of an oval-trench dimple.*

**Cooling systems, gas turbine blades, vortex surface generator, heat transfer, thermal and hydraulic performance**

## Теоретические основы построения системы воздушных сигналов с неподвижным невыступающим приемником

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

*Рассматриваются особенности построения и ограничения по применению традиционных систем воздушных сигналов на основе распределенных по фюзеляжу приемников и датчиков первичной информации. Обосновывается актуальность и раскрываются теоретические основы построения системы воздушных сигналов летательного аппарата с одним неподвижным невыступающим приемником со встроенными датчиками первичной информации и вычислительным устройством обработки информации и формирования выходных сигналов. Рассматриваются конкурентные преимущества и область применения системы.*

**Воздушные сигналы, измерение, система, набегающий поток, приемник, неподвижный невыступающий приемник, построение, теоретические основы, преимущества, область применения**

## Theoretical Foundations of Development of the Air Data System with the Fixed Flush-Mounted Receiver

V.M. SOLDATKIN, V.V. SOLDATKIN, E.S. EFREMOVA, AND A.V. NIKITIN

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

*The paper considers the design features of development and limitations on the use of conventional air data systems based on primary information receivers and sensors distributed over the fuselage. The relevance is substantiated and theoretical foundations are revealed for development of the aircraft air data system with one fixed flush-mounted receiver with built-in primary information sensors and a computing device for processing information and generating output signals. Competitive advantages and scope of application of the system are considered.*

**Air signals, measurement, system, incident flow, receiver, fixed flush-mounted receiver, development, theoretical foundations, advantages, scope of application**

**Влияние режимов  
лазерного ударного упрочнения  
на физико-механические свойства  
поверхностного слоя алюминиевого сплава Д16**

**Д.Д. КОРОЛЕВ,**  
**Г.Д. КОЖЕВНИКОВ,**  
**Д.А. ТОКАЧЕВ,**  
**М.А. ЛЯХОВЕЦКИЙ,**  
канд. техн. наук,  
**Ю.В. ПЕТУХОВ,**  
канд. техн. наук  
(МАИ, Москва)  
korolev.mai@yandex.ru

*Определены свойства поверхностного слоя алюминиевого сплава Д16 после применения технологии лазерного ударного упрочнения. Эксперименты проводились с различными значениями интенсивности лазерного излучения. Получены зависимости максимальных деформаций и микротвердости от величины интенсивности излучения. Исследовано влияние значения энергии лазерного излучения при фиксированной интенсивности на размер области пластической деформации металла.*

**Лазерное ударное упрочнение, поверхностное пластическое деформирование, алюминий, надежность**

**The Effect of Laser Shock Peening on the Physical and Mechanical Properties of the Surface Layer of D16 Aluminum Alloy**

D.D. KOROLEV, G.D. KOZHEVNIKOV, D.A. TOKACHEV,  
M.A. LYAKHOVETSKII, AND YU.V. PETUKHOV

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

*The paper studies the effect of laser shock peening on the physical and mechanical properties of the surface layer of D16 aluminum alloy. Experiments were carried out with different values of laser radiation intensity. The dependences of maximum deformations and microhardness on the intensity of radiation are obtained. The effect of the value of the laser radiation energy at a fixed intensity on the size of the area of the metal plastic deformation is investigated.*

**Laser shock peening, surface plastic deformation, aluminum, reliability**



## Разработка, изготовление и испытания высокотермостойкого радиопрозрачного композиционного материала

**П.Л. ЛЮДОГОВСКИЙ**,  
канд. техн. наук,  
**А.В. НАУМОВ**,  
канд. хим. наук  
(КНИТУ-КАИ, Казань),  
**И.В. ЛУНЕВ**  
(КФУ, Казань)  
12962281@mail.ru

*Выполнен анализ применяемых в авиационно-космической промышленности высокотермостойких композиционных материалов и их компонентов. Определены требуемые характеристики и компоненты разрабатываемого высокотермостойкого радиопрозрачного композиционного материала и технология изготовления с последующей ее реализацией и получения опытных образцов указанного материала. Спланированы и выполнены испытания образцов данного материала по определению механических и теплофизических характеристик, а также показателей радиопрозрачности.*

**Композиционный материал, радиопрозрачность, фталонитрильное связующее, термостойкость, диэлектрические характеристики**

## Development, Production, and Testing of High-Heat-Resistant Radiotransparent Composite Material

P.L. LYUDOGOVSKI<sup>1</sup>, A.V. NAUMOV<sup>1</sup>, AND I.V. LUNEV<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

<sup>2</sup> Kazan Federal University, Kazan

*The paper analyses the high-heat-resistant composite materials and their components used in the aerospace industry. The required characteristics and components of the developed high-heat-resistant radiotransparent composite material and the manufacturing technology with its subsequent implementation and production of prototypes of the specified material have been determined. Tests of samples of this material were planned and carried out to determine its mechanical and thermophysical characteristics as well as the radiotransparency performance.*

**Composite material, radiotransparency, phthalonitrile binder, heat resistance, dielectric characteristics**

**В.Л. ФЕДЯЕВ,**  
д-р техн. наук  
(ИММ ФИЦ КазНЦ РАН,  
Казань),

**В.И. ХАЛИУЛИН,**  
д-р техн. наук,

**И.Н. СИДОРОВ,**  
д-р физ.-мат. наук,

**Ю.П. КАТАЕВ,**  
д-р техн. наук  
(КНИТУ-КАИ, Казань),

**Д.В. НЕДЕЛЬКО,**  
д-р техн. наук  
(ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского,  
Жуковский)  
vlfed2020@gmail.com

## Математическое моделирование вакуумирования сухого технологического пакета семипрегов. II

*Рассматриваются процессы движения паровоздушной смеси в микропорах (капиллярах) волокон сухих слоев тканого наполнителя семипрегов. Выделяется несколько механизмов такого движения, приводится их математическое описание.*

**Тканые композиты, вакуумное формование, семипреги, движение паровоздушной смеси в капиллярах, математическое моделирование, полное время вакуумирования**

## Mathematical Modeling of Vacuuming of a Dry Technological Stack of Semipregs. II

V.L. FEDYAEV<sup>1</sup>, V.I. KHALIULIN<sup>2</sup>, I.N. SIDOROV<sup>2</sup>, YU.P. KATAEV<sup>2</sup>,  
AND D.V. NEDEL'KO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>IME – Subdivision of FRC KazSC RAS, Kazan

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

<sup>3</sup>Central Aerohydrodynamic Institute, Zhukovsky

*The paper considers the processes of movement of the vapor-air mixture in the micropores (capillaries) of the fibers of the dry layers of the woven filler of semipregs. Several mechanisms of such movement are singled out, and a mathematical description of them is given.*

**Woven composites, vacuum forming, semipregs, movement of a vapor-air mixture in capillaries, mathematical modeling, total vacuuming time**

## **Фрезерование стрингеров слабонагруженной обшивки летательных аппаратов**

*Приведены результаты исследований фрезерования оппозитно расположенными концевыми фрезами стрингеров обшивки летательных аппаратов, имеющих малую устойчивость. Для снятия частотных параметров колебаний поверхности стрингера в процессе механической обработки применена аппаратура – пьезоэлектрический датчик и осциллограф. В результате проведенных практических экспериментов по фрезерованию поверхностей стрингера при встречном и попутном фрезеровании выявлено влияние частотных характеристик на шероховатость обрабатываемой поверхности.*

**Е.А. ШЕСТАКОВА,**  
**Р.М. ЯНБАЕВ,**  
канд. техн. наук,  
**В.О. ИЕВЛЕВ,**  
канд. техн. наук  
(КНИТУ-КАИ, Казань)  
anburg@mail.ru

**Оппозитное фрезерование, вибрации, стрингеры слабонагруженной обшивки летательных аппаратов, амплитудно-частотная характеристика колебаний, профилограф-профилометр, шероховатость, осциллограф**

## **Milling the Stringers for Lightly Loaded Aircraft Skin**

E.A. SHESTAKOVA, R.M. YANBAEV, AND V.O. IEVLEV

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

*The paper presents the results of studies of milling the low stability stringers of the aircraft skin by the oppositely located end mills. The frequency parameters of vibrations of the processed surface of the stringer were practically determined using a piezoelectric sensor and an oscilloscope. The influence of frequency characteristics during up and down milling on the roughness of the machined surface has been revealed.*

**Opposed milling, vibrations, stringers of lightly loaded aircraft skin, amplitude-frequency characteristics of vibrations, profilograph-profilometer, roughness, oscilloscope**

**Е.И. ЕГОРОВА,**  
канд. техн. наук,  
**Д.В. КУРЫЛЕВ,**  
канд. техн. наук  
(КНИТУ-КАИ, Казань)  
egrvelena@kai.ru

**Моделирование технологического процесса  
детали «стакан» на языке UML**

*Рассмотрен вопрос создания функциональной модели технологического процесса изготовления детали «стакан» на языке UML.*

**Технологический процесс, плоский граф, стандарт IDEF0**

**Modeling the Technological Process of the “Cup”  
Part in UML Language**

E.I. EGOROVA AND D.V. KURYLEV

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

*The paper discussed the issue of creating a functional model of the technological process for manufacturing the “cup” part in the UML language.*

**Technological process, planar graph, IDEF0 standard**

## Равномерная сходимость функции угла рассеяния в газовых смесях

Проведен анализ равномерной сходимости по параметрам ключевой функции из молекулярно-кинетической теории – функции угла рассеяния взаимодействующих молекул, – которая используется в вычислительных технологиях определения коэффициентов переноса сред по методу Чепмена – Энскога. Анализ позволит обоснованно определять расчетные значения коэффициентов переноса в газовых смесях в двухуровневом численном моделировании задач газодинамики, сочетающих описание макропроцессов на основе макроуравнений тепло-массопереноса с микроскопическим описанием на базе уравнения Больцмана.

**И.В. АНИСИМОВА,**

д-р физ.-мат. наук,

**В.Н. ИГНАТЬЕВ,**

д-р физ.-мат. наук

(КНИТУ-КАИ, Казань)

anisimovai1@rambler.ru

**Уравнения тепло-массопереноса, переносные характеристики среды, уравнение Больцмана, несобственные кратные интегралы, кубатурные формулы Гаусса – Кристоффеля**

## Uniform Convergence of the Scattering Angle Function in Gas Mixtures

I.V. ANISIMOVA AND V.N. IGNAT'EV

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

*The paper analyzes the uniform convergence in terms of the parameters of the scattering angle function of interacting molecules. This function is a key function from molecular kinetic theory and is used in computational technologies for determining the media transfer coefficients by the Chapman–Enskog method. The analysis will make it possible to reasonably determine the calculated values of transfer coefficients in gas mixtures in two-level numerical modeling of gas dynamics problems, which combine a description of macroprocesses based on macro-equations of heat and mass transfer with a micro description based on the Boltzmann equation.*

**Heat and mass transfer equations, transport characteristics of the medium, Boltzmann equation, improper multiple integrals, Gauss–Christoffel cubature formulas**

## Пассивные элементы на основе $n$ -слойной неоднородной резистивно-емкостной среды: классификация и перспективы применения

**А.Х. ГИЛЬМУТДИНОВ,**  
 д-р техн. наук  
 (КНИТУ-КАИ, Казань;  
 НПО «"Радиоэлектроника"»  
 им. В.И. Шимко», Казань),  
**Д.В. ШАХТУРИН,**  
 канд. техн. наук  
 (КНИТУ-КАИ, Казань)  
 dvshakhturin@kai.ru

*Получены уравнения для  $n$ -слойного двумерного неоднородного резистивно-емкостного элемента с распределенными параметрами. На основе данных уравнений предложена классификация идеализированных пассивных элементов на базе двумерного неоднородного резистивно-емкостного элемента с распределенными параметрами, которые являются моделью пленочных конструкций многослойных резистивно-емкостных элементов с распределенными параметрами, реализованных на основе резистивно-емкостной среды. Показаны состояние и перспективы применения резистивно-емкостных элементов с распределенными параметрами в различных областях науки и техники, в том числе и авиационной.*

**Уравнения в частных производных, резистивно-емкостная среда, резистивно-емкостные элементы с распределенными параметрами, трех-, пятислойные резистивно-емкостные элементы с распределенными параметрами**

## Passive Elements Based on $n$ -Layer Heterogeneous Resistive-Capacitive Environment: Classification and Application Prospects

A.KH. GIL'MUTDINOV<sup>1,2</sup> AND D.V. SHAKHTURIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

<sup>2</sup> V.I. Shimko Scientific and Production Association "Radioelektronika", Kazan

*The paper presents the equations obtained for an  $n$ -layer two-dimensional heterogeneous resistive-capacitive distributed-parameter element. Based on these equations, we suggest the classification of idealized passive elements based on two-dimensional heterogeneous resistive-capacitive distributed-parameter element. These elements are considered to be the model of film structures of multilayer resistive-capacitive distributed-parameter elements implemented on the basis of a resistive-capacitive environment. The state and prospects for the use of resistive-capacitive distributed-parameter elements in various fields of science and technology, including aviation, have been presented.*

**Partial differential equations, resistive-capacitive environment, resistive-capacitive elements with distributed parameters, three- and five-layer resistive-capacitive elements with distributed parameters**

**Численное исследование  
акустической эффективности  
разновысотной звукопоглощающей конструкции  
в канале с касательным падением звуковой волны  
при наличии потока**

*Представлены физическая и математическая модели расчета акустических характеристик ячеек звукопоглощающих конструкций различного объема. Приведены результаты численных экспериментов по моделированию акустической волны в модельном канале с резонаторами различного объема при наличии потока.*

**П.В. ПИСАРЕВ,**

канд. техн. наук,

**К.А. АХУНЗЯНОВА**

(ПНИПУ, Пермь)

karina-maksimova0402@yandex.ru

**Звукопоглощающие конструкции, разновысотные ячейки звукопоглощающих конструкций, резонансная частота, акустическая эффективность, численное моделирование, канал с потоком**

**Numerical Study of the Acoustic Efficiency of Different Height  
Sound-Absorbing Structure in a Channel with Tangential Incidence  
of Sound Wave in the Presence of Flow**

P.V. PISAREV AND K.A. AKHUNZYANOVA

Perm National Research Polytechnic University, Perm

*The paper presents the physical and mathematical models for computing the acoustic characteristics of sound-absorbing structures consisting of different volume cells. The results of numerical experiments involve modeling the acoustic wave in a model channel containing resonators of different volumes, while considering the presence of flow.*

**Sound-absorbing structures, different height cells of sound-absorbing structures, resonant frequency, acoustic efficiency, numerical simulation, flow channel**

## Использование деревьев событий при автоматизации и интеллектуализации диагностирования и ремонта авиационной техники

*Рассмотрено использование графического формализма деревьев событий при создании прототипов баз знаний интеллектуальных систем, при этом знания представлены в декларативной форме в виде логических правил, описывающих взаимосвязи между внешними признаками неисправности, возможными причинами и операциями по их локализации и устранению. В качестве методологической основы используется разработанная ранее технология прототипирования продукционных экспертных систем, реализующая принципы визуального программирования и модельных трансформаций. Описано ее применение при создании баз знаний для авиационной диагностики, включая основные модели и этапы, приведен пример. Разработаны алгоритмы и программное обеспечение в форме специализированного редактора деревьев событий и модуля расширения для Personal Knowledge Base Designer.*

**Ю.В. КОТЛОВ,**  
канд. техн. наук  
(МГТУ ГА, Иркутский  
филиал, Иркутск),  
**О.А. НИКОЛАЙЧУК,**  
д-р техн. наук,  
**А.Ю. ЮРИН,**  
д-р техн. наук  
(Институт динамики систем  
и теории управления  
им. В.М. Матросова СО РАН,  
Иркутск)  
iskander@icc.ru

**Диагностирование воздушных судов, интеллектуализация, автоматизация, разработка баз знаний, преобразования, деревья событий**

## Using the Event Trees in the Automation and Intellectualization of Aircraft Diagnostics and Repair

YU.V. KOTLOV<sup>1</sup>, O.A. NIKOLAICHUK<sup>2</sup>, AND A.YU. YURIN<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> V.M. Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk

*The paper considers the use of the graphical formalism of event trees when creating prototypes of knowledge bases for intelligent systems. Here, the knowledge is represented in a declarative form as logical rules describing the relationship between external signs of a malfunction, possible causes, and operations for their localization and elimination. The previously developed technology of prototyping the rule-based expert systems, implementing the principles of visual programming and model transformations, is used as a methodological basis. Its application is described in the creation of knowledge bases for aviation diagnostics, including the main models and stages, an example is given. Algorithms and software were developed in the form of a specialized event tree editor and an extension module for Personal Knowledge Base Designer.*

**Aircraft diagnostics, intellectualization, automation, knowledge base development, transformations, event trees**



## Определение механических свойств композитов по результатам статических испытаний

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

*Рассматриваются результаты статического испытания лонжерона стыка крыла беспилотного летательного аппарата, выполненного из композиционного материала. Используется балочно-консольная модель при жесткой заделке. Применяется методика определения механических характеристик материала по отклику конструкции на действие поперечной нагрузки.*

**Эксперимент, анализ результатов, обратные задачи**

## Determination of Mechanical Properties of Composites Based on the Static Test Results

V.A. KOSTIN AND A.M. GARAEV

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

*The paper considers the results of the static test of the wing-to-body juncture spar of the composite unmanned aerial vehicle. The beam-cantilever anchoring model is used. To determine the mechanical characteristics of the material, a technique based on the response of the structure to the lateral load is used.*

**Experiment, analysis of results, inverse problems**