

О РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ПРИ ВЫБОРЕ ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ ПЛАНЕРА САМОЛЕТА ВЕРТИКАЛЬНОГО ВЗЛЕТА И ПОСАДКИ

Т.Ю. ГАЙНУТДИНОВА,

канд. техн. наук
(ПФУ, Казань),

М.В. ТРУСФУС,

аспирант,

В.Г. ГАЙНУТДИНОВ,

д-р техн. наук
(КНИТУ-КАИ, Казань)

tgainut@mail.ru

Предлагается описание расчетных и экспериментальных исследований, проводимых при подборе проектных параметров управляющих поверхностей и характеристик подъемных двигателей беспилотного самолета вертикального взлета. Анализируется использование единой структурной схемы соотношений для вычисления управляющих сигналов управления и стабилизации по крену, тангажу и рысканию. Приводятся результаты расчетов по моделированию полета по заданным контрольным точкам.

Проектные параметры управления, беспилотный самолет, моделирование полета

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL DESIGN PARAMETER ANALYSIS OF VTOL AIRFRAME CONTROL ELEMENTS

T.YU. GAINUTDINOVA¹, M.V. TRUSFUS², AND V.G. GAINUTDINOV²

¹ Kazan (Volga region) Federal University, Kazan

² Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

The paper describes the computational and experimental investigation in selecting the design parameters of control surfaces and characteristics of the lift engines of a VTOL unmanned aerial vehicle. The general structural scheme of equations to roll, pitch and yaw control and stabilization is analyzed. Results of numerical simulation of the point-to-point autonomous flight are given.

Control design parameters, unmanned aerial vehicle, flight simulation

ВИБРОДИАГНОСТИКА ЗУБЧАТЫХ МУФТ ТРАНСМИССИИ ВЕРТОЛЕТА

В.И. КОЛЕСНИКОВ,
д-р техн. наук,
П.А. КОРОПЕЦ,
канд. техн. наук
(РГУПС, Ростов-на-Дону),
Е.С. СИНЮТИН
(НТЦ «Техноцентр» ЮФУ,
Таганрог)
pkoropets@gmail.com

На основании стендовых испытаний показана взаимосвязь между вибрационным сигналом и состоянием зубчатой муфты трансмиссии хвостового винта вертолета Ми-26. Методами спектральных преобразований и преобразований Гильберта – Хуанга установлены информативные признаки, характеризующие износ зубьев и шлицев. Получены результаты, которые могут быть использованы в системе бортовой диагностики вертолета для определения остаточного ресурса и критического состояния зубчатых муфт.

Зубчатая муфта, износ, ресурс, сигнал, амплитуда, частота, спектр

VIBRODIAGNOSTICS OF HELICOPTER TRANSMISSION GEAR COUPLINGS

V.I. KOLESNIKOV¹, P.A. KOROPETS¹, AND E.S. SINYUTIN²

¹ Rostov State Transport University, Rostov-on-Don

² Scientific Technical Center Tekhnotsentr, Southern Federal University, Taganrog

On the basis of bench tests, the relationship between the vibration signal and the state of the gear coupling of the Mi-26 helicopter is shown. By the methods of spectral transformations and Hilbert-Huang transform, informative signs are established that characterize the wear of teeth and splines. The results obtained can be used in the on-board diagnostics system of the helicopter to determine the residual life and the critical state of gear couplings.

Gear coupling, wear, life, signal, amplitude, frequency, spectrum

ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДИСКА КОМПРЕССОРА НА ОСНОВЕ ПЛАСТИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ

Прогнозируется скорость роста трещины и долговечность диска компрессора газотурбинного двигателя при эксплуатационных условиях нагружения. Рассмотрены различные комбинации угловой скорости вращения, температуры, формы и размеров дефектов, а также вариация упругопластических свойств титанового сплава VT3-1. Представлены уравнения скорости роста трещины, основанные на концепции размера зоны процесса разрушения и пластического коэффициента интенсивности напряжений. Оценивается остаточная долговечность вращающегося диска компрессора в упругой и упругопластической трактовке.

В.Н. ШЛЯННИКОВ,

д-р техн. наук,

Р.Р. ЯРУЛЛИН,

канд. техн. наук,

И.С. ИШТЫРЯКОВ,

мл. науч. сотрудник

(ФИЦ КазНЦ РАН, Казань)

yarullin_r@mail.ru

Диск компрессора, скорость роста усталостной трещины, долговечность, зона процесса разрушения, пластический коэффициент интенсивности напряжений

LIFETIME ASSESSMENT FOR A CRACKED COMPRESSOR DISK BASED ON THE PLASTIC STRESS INTENSITY FACTOR

V.N. SHLYANNIKOV, R.R. YARULLIN, AND I.S. ISHTYRYAKOV

Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan

Based on a new fracture mechanics parameter, this study is concerned with assessment of the lifetime of a cracked aircraft gas turbine engine compressor disk operating under low cyclic loading conditions. In combination with the elastic-plastic properties of the VT3-1 titanium alloy, various combinations of angular velocity, temperature, surface flaw form and size are considered. A lifetime prediction model, which is based on the fracture process zone size and plastic stress intensity factor (SIF), is proposed. The durability of the compressor disk is predicted on the basis of SIF distributions obtained from elastic and plastic crack growth models.

Compressor disk, fatigue crack growth rate, lifetime, fracture process zone, plastic stress intensity factor

**СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОМ ТАНГАЖА
С КАНАЛОМ ОГРАНИЧЕНИЯ УГЛА АТАКИ**

Э.Ю. АБДУЛЛИНА,
аспирант,
В.Н. ЕФАНОВ,
д-р техн. наук
(УГАТУ, Уфа)
efanov@mail.ru

Рассматривается задача синтеза системы управления углом тангажа с каналом ограничения угла атаки. Обсуждается проблема согласования траекторий движения системы на режиме управления углом тангажа и режиме ограничения угла атаки. Предлагается подход, основанный на использовании обобщенной характеристики системы, обеспечивающей согласование состояний системы в произвольный момент изменения режима ее работы.

Летательный аппарат, угол тангажа, угол атаки, система управления, синтез

**SYNTHESIS OF PITCH ANGLE CONTROL SYSTEM WITH ANGLE
OF ATTACK LIMITING CHANNEL**

E.YU. ABDULLINA AND V.N. EFANOV

Ufa State Aviation Technical University, Ufa

The problem of synthesizing the pitch angle control system with the angle of attack limiting channel is considered. The problem of matching the trajectories of the system on the pitch angle control mode and the angle of attack limitation mode is discussed. An approach is proposed based on using a generalized characteristic of the system, which ensures the matching of the system states at an arbitrary moment of change in its operation mode.

Aircraft, pitch angle, angle of attack, control system, synthesis

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛОМЕРНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ НА РАКЕТАХ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Н.Ф. АВЕРКИЕВ,
д-р техн. наук,
С.А. БОГАЧЕВ,
канд. техн. наук,
А.Н. СКРИПНИКОВ,
канд. техн. наук
(ВКА им. А.Ф. Можайского,
Санкт-Петербург)
salexeynik@yandex.ru

Рассмотрены возможности применения навигационной аппаратуры потребителей на основе определений углового положения ракет космического назначения в полете с учетом особенностей процесса управления. Сформулирована постановка задач уточнения углового положения на активном участке траектории и выявления нештатной работы измерителей инерциальных навигационных систем на пассивном участке траектории движения ракеты космического назначения с использованием навигационной аппаратуры потребителя. Предложены и обоснованы методологические пути решения поставленных задач.

Навигационная аппаратура, ракета космического назначения, угловое положение

POSSIBILITIES OF USING THE ANGULAR NAVIGATION EQUIPMENT FOR SPACE ROCKETS

N.F. AVERKIEV, S.A. BOGACHEV, AND A.N. SKRIPNIKOV

Mozhaisky Military Space Academy, St. Petersburg

The paper discusses the possibilities of using the navigation user equipment on the basis of determining the angular position of space rockets in flight taking into account the special features of the control process. The task statement is given on clarifying the angular position on the active trajectory leg and identifying the abnormal operation of the meters of inertial navigation systems on the inactive trajectory leg of the space rockets using navigation consumer equipment. Methodological ways for solving the task are proposed and substantiated.

Navigation equipment, space rocket, angular position

АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ КОРРЕКЦИИ АСТРОИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Рассмотрена астроинерциальная навигационная система летательного аппарата, состоящая из астрономической навигационной системы, установленной на гиросtabilизированную платформу инерциальной навигационной системы. Исследованы погрешности астроинерциальной навигационной системы, предложены способы уменьшения этих погрешностей. Определена точность компенсации погрешностей с помощью моделирования по данным полунатурного эксперимента. Представлен сравнительный анализ результатов разработанных способов коррекции астроинерциальных навигационных систем.

К.А. НЕУСЫПИН,

д-р техн. наук,

М.С. СЕЛЕЗНЕВА,

канд. техн. наук

(МГТУ им. Н. Э. Баумана,

Москва)

neysipin@mail.ru

Летательный аппарат, астрокорректор, инерциальная навигационная система, канал коррекции, адаптивный алгоритм оценивания, оценка точности коррекции, полунатурное моделирование

ALGORITHMIC METHODS FOR CORRECTING AIRCRAFT ASTRO-INERTIAL SYSTEMS

K.A. NEUSYPIN AND M. S. SELEZNEVA

Bauman Moscow State Technical University, Moscow

The paper studies the aircraft astro-inertial navigation system, which consists of an astronomical navigation system installed on a gyro-stabilized platform of inertial navigation system. The errors of this system arising from various disturbing factors are investigated. Methods based on system correction channels formation and using adaptive estimation algorithm are proposed for reducing these errors. A simulation using semi-natural experiment data was carried out for determining the accuracy of error compensation. The results demonstrate the accuracy and effectiveness of the methods proposed in correcting astro-inertial navigation systems.

Aircraft, astro-corrector, inertial navigation system, correction channel, adaptive estimation algorithm, correction accuracy estimation, semi-natural simulation

**ОПТИМИЗАЦИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ
СИСТЕМЫ ДОЗВУКОВОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРА-
ТА С ЦЕЛЬЮ
МИНИМИЗАЦИИ ИНДУКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕ-
НИЯ**

В.Г. БОРИСОВА,
аспирант
(НГТУ, Новосибирск),

В.А. СИЛАНТЬЕВ,
канд. тех. наук
(СибНИА

им. С.А. Чаплыгина,
Новосибирск)

sa01borisova@gmail.com

Выполнена оптимизация распределения аэродинамической нагрузки (циркуляции G) по всему размаху сложной несущей системы, которая обеспечивает минимальное индуктивное сопротивление. Проведены оптимизационные расчеты для ряда компоновок. Аэродинамическое проектирование выполнено на примере замкнутой, оптимизированной, несущей системы бипланного типа, относящейся к категории нетрадиционных схем.

Индуктивное сопротивление, плоскость Трефтца, циркуляция, оптимизация, дискретный П-образный вихрь, аэродинамическое проектирование

**OPTIMIZATION AND DESIGN OF A SUBSONIC AIRCRAFT
LIFTING SYSTEM WITH THE VIEW TO MINIMIZE INDUCED DRAG**

V.G. BORISOVA¹ AND V.A. SILANTIEV²

¹ Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

² Chaplygin Siberian Aeronautical Research Institute (SibNIA), Novosibirsk

The optimization of the aerodynamic load distribution (circulation G) has been performed spanwise of the complex lifting system, which provides the minimum induced drag. Optimization computations have been conducted for a set of aerodynamic configurations. Aerodynamic design has been performed by an example of a closed, optimized, biplane-type lifting system relating to the category of non-conventional configurations.

Induced drag, Trefftz plane, circulation, optimization, discrete U-shaped vortex, aerodynamic design

МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛАМИНАРНОГО ДВУХСРЕДНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ НА ПЛОСКОЙ ПЛАСТИНЕ

Исследован эффект снижения коэффициента трения в двухсредном пограничном слое вследствие скольжения на границе раздела сред. Показано хорошее согласование результатов, полученных методом, разработанным авторами в рамках теории пограничного слоя, и интегрированием уравнений движения сплошной среды для пленочных течений в пакете ANSYS Fluent при существенно меньшем времени счета для первого случая.

Н.И. КЛЮЕВ,
д-р техн. наук,
К.А. ПОЛЯКОВ,
канд. физ.-мат. наук
(СамГТУ, Самара)
garry_c@rambler.ru

Двухсредный неперемешивающийся пограничный слой, полубесконечная пластина, коэффициент трения, условия проскальзывания, Eulerian Wall Films, ANSYS Fluent

METHODS OF MATHEMATICAL MODELING FOR LAMINAR TWO-MEDIUM BOUNDARY LAYER ON A FLAT PLATE

N.I. KLYUEV AND K.A. POLYAKOV

Samara State Technical University, Samara

The paper studies the effect of drag reduction in a two-medium boundary layer due to sliding at the interface region. The results obtained by authors in the framework of the boundary layer theory are in good agreement with those obtained by integrating the continuum equations of motion for film flows in ANSYS Fluent software with reduction of computational time for the first case.

Two-medium non-intermixing boundary layer, semi-infinite plate, coefficient of friction, slipping conditions, Eulerian Wall Films, ANSYS Fluent

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТУРБУЛЕНТНЫМ ПОГРАНИЧНЫМ СЛОЕМ НА ПРОНИЦАЕМОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХ- НОСТИ В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОТОКЕ ГАЗА

Рассматривается задача построения закона распределения нормальной составляющей скорости вдува в турбулентный пограничный слой при сверхзвуковых скоростях обтекания. Задача решается с использованием метода обобщенных интегральных соотношений А.А. Дородницына и формализма Лагранжа. Проведены вычислительные эксперименты, показавшие эффективность оптимальных управлений по сравнению с равномерным законом вдува.

И.Р. МУХАМЕТЗЯНОВ,
канд. техн. наук
(КНИТУ-КАИ, филиал
«Восток», Чистополь)
m.ilshat@mail.ru

Турбулентный пограничный слой, сверхзвуковое течение, оптимальное управление, тепловые потоки, цилиндрическая поверхность

OPTIMAL CONTROL OF A TURBULENT BOUNDARY LAYER ON A PERMEABLE CYLINDRICAL SURFACE IN A SUPERSONIC GAS FLOW

I.R. MUKHAMETZYANOV

Chistopol Branch “Vostok”, Tupolev Kazan National Research
Technical University, Chistopol

The paper deals with the problem of constructing the distribution law of the normal component of injection velocity in a turbulent boundary layer at supersonic flow velocities. The problem is solved using the Dorodnitsyn generalized method of integral relations and the Lagrange formalism. The computational experiments conducted have shown the efficiency of optimal controls in comparison with the uniform law of injection.

Turbulent boundary layer, supersonic flow, optimal control, heat fluxes, cylindrical surface

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СИСТЕМЫ «РУЛЬ – ПРИВОД» С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ АЭРОУПРУГОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

С.Г. ПАРАФЕСЬ,
д-р техн. наук,
И.К. ТУРКИН,
д-р техн. наук
(МАИ, Москва)
s.parafes@mail.ru

Предложен подход к проектированию системы «руль – привод» с учетом аэроупругих характеристик руля. Разработаны математические модели, используемые для решения задач выбора проектных параметров руля и исследования устойчивости «руль – привод». Приведен пример проектирования системы «руль – привод» беспилотного летательного аппарата класса «воздух – воздух».

Руль, привод, флаттер, аэроупругая устойчивость, совместное проектирование, методика, оптимизация

ON ONE APPROACH TO DESIGN OF THE RUDDER-DRIVE SYSTEM TAKING INTO ACCOUNT THE AEROELASTIC STABILITY REQUIREMENTS

S.G. PARAFES' AND I.K. TURKIN

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

An approach to design of the rudder-drive system taking into account the aeroelastic characteristics of the rudder is proposed. Mathematical models are developed that are used to solve problems of the rudder design parameters selection and the rudder-drive system stability analysis. An example of design of the rudder-drive system of the air-to-air unmanned aerial vehicle is given.

Rudder, drive, flutter, aeroelastic stability, participatory design, technique, optimization

О.А. ЕВДОКИМОВ,

канд. техн. наук,

Ш.А. ПИРАЛИШВИЛИ,

д-р техн. наук,

А.А. ЕМЕЦ,

канд. техн. наук,

С.В. ВЕРЕТЕННИКОВ,

канд. техн. наук

(РГАТУ им. П.А. Соловьева,

Рыбинск),

А.А. ЭЛКЕС

(ПАО «ОДК-Сатурн»,

Рыбинск)

evdokimov_oleg@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОТРАБОТКА ВАКУУМНОЙ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ТОПЛИВНЫХ ФОРСУНОК АВИАЦИОННОГО ДВИГА- ТЕЛЯ

Предложена новая технология очистки двухконтурных форсунок в составе топливного коллектора авиационного двигателя от продуктов коксования и нагара, реализуемая без снятия двигателя с самолета и его разборки. Выполнена экспериментальная отработка технологии на различных режимных параметрах, определены наиболее эффективные условия очистки, проведены эндоскопические исследования состояния внутренних каналов форсунок и распылителей.

Форсунка, топливный коллектор, авиационный двигатель, нагар, очистка, моющая жидкость, распыл, вихревой эжектор

EXPERIMENTAL DEVELOPMENT OF VACUUM CIRCULATORY CLEANING OF AIRCRAFT ENGINE FUEL NOZZLES

O.A. EVDOKIMOV¹, SH.A. PIRALISHVILI¹, A.A. EMETS¹,
S.V. VERETENNIKOV¹, AND A.A. EL'KES²

¹ Rybinsk State Aviation Technical University, Rybinsk,

² OAO NPO Saturn, Rybinsk

A new technology is suggested for cleaning duplex nozzles of the aircraft engine fuel manifold from products of carbonization and carbon deposits. This technology can be implemented without removing the engine from the aircraft and its disassembly. The experimental development of the technology is performed for different operational modes, the most effective conditions of cleaning are defined, endoscopic studies of the internal channels of nozzles and sprayers are carried out.

Nozzle, fuel manifold, aircraft engine, deposit, cleaning, washing liquid, atomization, vortex ejector

ОЦЕНКА АЗИМУТАЛЬНОЙ ОДНОРОДНОСТИ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩЕЙ ОБЛИЦОВКИ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

И.А. КОРИН,
аспирант,
Р.В. БУЛЬБОВИЧ,
д-р техн. наук,
В.В. ПАЛЬЧИКОВСКИЙ,
канд. техн. наук,
О.Ю. КУСТОВ,
аспирант
(ПНИПУ, Пермь)
vvpal@pstu.ru

Разработан портативный интерферометр с увеличенным диаметром канала, позволяющий определять акустические характеристики конструкций авиационного двигателя приставным способом. Проведены исследования крупногабаритных звукопоглощающих панелей, используемых для облицовки каналов авиационного двигателя. Показано, что панели имеют высокую степень однородности акустических характеристик по азимутальному углу.

Авиационный двигатель, шум, звукопоглощающие конструкции, модальный состав шума, импеданс, интерферометр

ESTIMATION OF AZIMUTHAL UNIFORMITY OF ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF THE SOUND-ABSORBING LINER FOR AN AIRCRAFT ENGINE

I.A. KORIN, R.V. BUL'BOVICH, V.V. PAL'CHIKOVSKII, O.YU. KUSTOV

Perm National Research Polytechnical University, Perm

A portable normal incidence interferometer is developed, which allows determining the acoustic characteristics of the full-scale liners of an aircraft engine. Studies of large sound-absorbing panels used for lining the aircraft engine ducts are carried out. It is demonstrated that the panels have uniform acoustic characteristics in azimuthal direction.

Aircraft engine, noise, sound-absorbing liners, noise modal structure, impedance, interferometer

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОПЛОВЫХ РЕШЕТОК ТУРБИНЫ С МЕРИДИАННЫМ РАСКРЫТИЕМ ПРОТОЧНОЙ ЧА- СТИ

Изучено влияние значительного меридианного раскрытия проточной части соплового аппарата турбины на структуру потока и потери энергии, проведен поиск способов улучшения аэродинамических характеристик аппаратов с таким раскрытием. По расчетам вязкого потока, двухстороннее меридианное раскрытие соплового венца меняет обтекание профилей по всей высоте лопатки, увеличивая скорости на профиле и интенсивности торможения на диффузорных участках течения. Установлено, что введение периферийной перекрыши может значительно снизить потери энергии в венце.

Б.И. МАМАЕВ,

д-р техн. наук

(ОКБ им. А. Люльки, Москва)

boris.mamaev35@mail.ru

Профиль, корыто, спинка, концевая стенка, перекрыша, распределение скоростей, потери

AERODYNAMIC INVESTIGATION OF THE TURBINE VANE ROW WITH A FLARED FLOW PATH

B.I. MAMAEV

A. Lyul'ka Design Bureau, Moscow

The influence of a bilateral flare of the flow path of the turbine nozzle vane on the flow pattern and energy losses was investigated, a search was made for ways to improve the aerodynamic performance of a such kind of units. According to viscous flow calculations, the bilateral flared flow path affects the airfoil loading along the whole height of the vane, increasing velocities on both sides of the airfoil and the intensity of diffusion at divergent flow zones. The positive tip overlap considerably decreases energy losses in the vane.

Airfoil, pressure side, suction side, endwall, overlap, loading, losses

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА СТАБИЛИЗАЦИИ ПЛАМЕНИ В НЕОДНОРОДНЫХ ПО ФАЗЕ ТОПЛИВОВОЗДУШНЫХ СМЕСЯХ

Рассмотрен механизм стабилизации пламени в неоднородных по фазе топливовоздушных смесях. Предложен метод уточнения тепловой теории стабилизации пламени учетом тепла, расходуемого на прогрев и испарение жидкого топлива в зоне воспламенения. Получена аналитическая зависимость для расчета границ устойчивого горения двухфазных смесей. Показано соответствие экспериментальных данных закономерностям расчетной зависимости.

Б.Г. МИНГАЗОВ,
д-р техн. наук,
Т.Х. МУХАМЕТГАЛИЕВ
(КНИТУ-КАИ, Казань)
BGmingazov@kai.ru

Стабилизация пламени, тепловая теория, двухфазные смеси, области устойчивого горения двухфазной смеси

INVESTIGATION OF THE FLAME STABILIZATION MECHANISM IN PHASE-INHOMOGENEOUS AIR-FUEL MIXTURES

B.G. MINGAZOV AND T.KH. MUKHAMETGALIEV

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

The mechanism of flame stabilization in phase-inhomogeneous air-fuel mixtures is considered. A method is proposed for refining the thermal theory of flame stabilization by taking into account the heat consumed for heating and evaporating liquid fuel in the ignition zone. An analytical dependence is obtained for the calculation of flaming out curves during the steady combustion of two-phase mixtures. Analysis of the experimental data shows their compliance with the laws of the calculated dependence.

Flame stabilization, thermal theory, two-phase mixtures, areas of steady combustion of a two-phase mixture

В.В. МУРАШКИН,
канд. техн. наук
(ЦСКБ ЕПК, Самара),

В.А. БРУЯКА,
канд. физ.-мат. наук
(СамГТУ, Самара),

А.И. ДАНИЛЬЧЕНКО,
канд. техн. наук
(ЦСКБ ЕПК, Самара),

Я.М. КЛЕБАНОВ
д-р техн. наук
(СамГТУ, Самара)
jklebanov@mail.ru

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ПОДШИПНИКОВ ТУРБОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Рассмотрены вопросы моделирования гидродинамики протекания маловязкой среды через шариковые подшипники турбонасосных агрегатов и определения нагрузок со стороны протекающей жидкости на детали подшипника. Приводятся примеры выполненных расчетов.

Гидродинамика, подшипник качения, силы, моменты сил, шарики, сепаратор, потери мощности

HYDRODYNAMIC LOADS ON BEARING ELEMENTS OF THE LIQUID-PROPELLANT ROCKET ENGINE TURBOPUMP

V.V. MURASHKIN¹, V.A. BRUYAKA², A.I. DANIL'CHENKO¹,
AND YA.M. KLEBANOV²

¹ TsSKB EPK, Samara

² Samara State Technical University, Samara

Hydrodynamic models of the low-viscosity fluid flow through the turbopump bearing and flowing fluid loads on the bearing parts are considered. Examples of calculations are given.

Hydrodynamics, rolling bearing, forces, torques, balls, cage, power losses

ОПЫТНАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ В КОНИЧЕСКИХ РОЛИКОПОДШИПНИКАХ

Предложено критериальное уравнение для расчета теплового потока, эквивалентного суммарным потерям мощности на привод конических роликоподшипников, работающих в режиме средней опоры роторов газотурбинных двигателей.

В.В. РОЩИН,
канд. техн. наук
(КНИТУ-КАИ, Казань)
dr.vv-2015@yandex.ru

Конические роликоподшипники, суммарные потери мощности на привод, тепловой режим, средняя опора ротора, газотурбинный двигатель

EXPERIMENTAL ESTIMATION OF ENERGY LOSSES IN TAPERED ROLLER BEARINGS

V.V. ROSHCHIN

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

A criterion equation is proposed for evaluating the heat flux, which is equivalent to the total power losses to drive of tapered roller bearings operating in conditions of the middle support of gas turbine rotors.

Tapered roller bearings, total power losses for rotation, thermal conditions, middle support of rotor, gas turbine engine

ОПТИМИЗАЦИЯ СВАРНОГО ФРАГМЕНТА РОТОРА КОМПРЕССОРА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Разработан комплексный подход к оптимизации сварного фрагмента ротора компрессора высокого давления как единого объекта. Критерием оптимизации выступает условие минимизации массы, в качестве ограничений – требования к значениям характеристик прочности и жесткости. Приведен пример оптимизации типового сварного фрагмента ротора компрессора высокого давления, в результате которой происходит снижение массы и повышение циклической долговечности.

А.В. САЛЬНИКОВ,
аспирант
(ЦИАМ им. П.И. Баранова,
Москва)
avsalnikov@ciam.ru

Оптимизация, ротор компрессора высокого давления, диск, замковое соединение, лабиринтное уплотнение, радиальные зазоры

OPTIMIZATION OF A WELDED PORTION OF THE HIGH PRESSURE COMPRESSOR ROTOR

A.V. SAL'NIKOV

P.I. Baranov Central Institute of Aviation Motors (CIAM), Moscow

An integrated method for optimization of a welded portion of a high pressure compressor rotor as a single object is developed. The minimum mass criterion is used in the optimization method; limitations are imposed in accordance with strength and stiffness requirements. An example of optimization of a typical welded portion of a high pressure compressor rotor resulting in mass reduction and increase of cyclic durability is given.

Optimization, HPC rotor, disk, lock joint, labyrinth seal, radial clearances

ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМА БИРОТАТИВНОГО ВИНТОВЕНТИЛЯТОРА В СТАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

В.Ф. САМОХИН,
д-р техн. наук
(ФГУП «ЦАГИ», Жуковский),
П.А. МОШКОВ,
канд. техн. наук
(АО «Гражданские самолеты
Сухого», Москва),
moshkov89@bk.ru

Представлены основные результаты экспериментального исследования акустических характеристик турбовинтовентиляторного двигателя с биротативным высоконагруженным винтовентилятором. Измерения выполнены при работе двигателя в статических условиях. Получены энергетические, пространственные и спектральные характеристики акустического поля силовой установки

Биротативный винтовентилятор, «открытый ротор», шум соосных винтов, акустические измерения

STUDY OF THE CONTRA-ROTATING OPEN ROTOR NOISE UNDER STATIC CONDITIONS

V.F. SAMOKHIN¹ AND P.A. MOSHKOV²

¹ Central Aerohydrodynamic Institute (TsAGI), Zhukovskii

² AO Grazhdanskiye Samolety Sukhogo, Moscow

The paper presents the main results of the experimental study of acoustic characteristics of the propfan engine with a high-loaded contra-rotating open rotor. The measurements are made during the engine operation under static conditions. The energy, directivity, and spectral characteristics of the power plant acoustic field are obtained.

Contra-rotating propeller, open rotor, contra-rotating open rotor noise, acoustic measurements

К РАСЧЕТУ РЕЗОНАНСНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ РАБОЧИХ КОЛЕС ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

В.А. ФУТИН,

канд. техн. наук
(ООО «Газпром трансгаз
Казань», Казань),

С.С. ЕВГЕНЬЕВ,

д-р техн. наук
(КНИТУ, Казань)
vic_net1@mail.ru

Представлены результаты расчетов собственных частот и форм колебаний закрытого и полукрытого рабочего колеса методом конечных элементов и сравнение с экспериментальными данными голографической интерферометрии. Рассмотрены частоты возмущающих нагрузок и показаны ожидаемые резонансные режимы.

Центробежный компрессор, рабочее колесо, собственные частоты и формы колебаний, резонанс

CALCULATION OF THE RESONANT OPERATING MODES OF CENTRIFUGAL COMPRESSOR IMPELLERS

V.A. FUTIN¹ AND S.S. EVGEN'EV²

¹ ООО Gazprom Transgaz, Kazan

² Kazan National Research Technological University, Kazan

This paper presents the data gained through calculations of the eigenfrequencies and vibration modes of closed and semi-open impeller types by applying the finite element method and comparing holographic interferometry with experimental data. The frequencies of exciting loads are considered and the expected resonance modes are shown.

Centrifugal compressor, impeller, eigenfrequency, vibration modes, resonance

**3D-ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕНА И ГИДРОДИ-
НАМИКИ
В КАНАЛАХ ПРИ РАЗЛИЧНОМ СОЧЕТАНИИ
РЕБЕР И ОВАЛЬНО-ТРАНШЕЙНЫХ ЛУНОК**

Ю.Г. ГОРЕЛОВ,
канд. техн. наук
(НПЦ газотурбостроения
«Салют», Москва)
yury.dina@gmail.com

По результатам 3D-расчета в ANSYS CFX выявлены комбинации ребер и овально-траншейных лунок с максимальной теплоэнергетической характеристикой, интенсификацией теплообмена и минимальными коэффициентами трения.

Сдвоенные V-образные лунки с полусферическими выступами между ними, V-образные ребра, теплоэнергетическая характеристика

**3D INVESTIGATIONS OF HEAT EXCHANGE AND HYDRODYNAM-
ICS
IN CHANNELS WITH DIFFERENT COMBINATIONS OF RIBS
AND OVAL TRENCH DIMPLES**

YU.G. GORELOV

Salyut Gas Turbine Engineering Research and Production Center, Moscow

As a result of 3D calculation in the ANSYS CFX software, combinations of ribs and oval trenches are revealed of the maximal thermal performance, intensification of heat exchange, and minimal drag coefficients.

Doubled V-shaped dimples with hemispherical protrusions between them, V-shaped ribs, thermal performance

А.А. МИРОНОВ,
аспирант
(КНИТУ-КАИ, Казань),
С.А. ИСАЕВ,
д-р физ.-мат. наук
(СПбГУ ГА,
Санкт-Петербург),
И.А. ПОПОВ,
д-р техн. наук,
Р.А. АКСЯНОВ,
аспирант,
А.Н. СКРЫПНИК,
аспирант
(КНИТУ-КАИ, Казань)
raaksyanov@kai.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВИАЦИОННЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Предложены теплообменные поверхности для интенсификации теплоотдачи в трактах авиационных теплообменных аппаратов, выполненные в виде периодически нанесенных выемок овально-дуговой и овально-траншейной формы. Представлены результаты первичных экспериментальных теплогидравлических исследований трактов различной конфигурации.

Интенсификация теплообмена, численное моделирование, теплоотдача, гидравлическое сопротивление, овально-дуговые выемки

IMPROVING THE EFFICIENCY OF AIRCRAFT HEAT EXCHANGERS

A.A. MIRONOV¹, S.A. ISAEV², I.A. POPOV¹, R.A. AKSYANOV¹, A.N. SKRYPNIK¹

¹ Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

² St. Petersburg University of Civil Aviation, St. Petersburg

Heat exchange surfaces for enhancing the heat transfer in aircraft heat exchangers are proposed. They are made in the form of periodically applied oval-arc and oval-trench dimples. The results of the primary experimental thermal-hydraulic studies of the paths of different configurations are presented.

Heat transfer enhancement, numerical simulation, heat transfer, hydraulic resistance, oval-arc dimples

**ГИДРОАЭРОДРОМ: ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ
СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНЫХ
И НАВИГАЦИОННЫХ ДЕЙСТВИЙ
ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ГИДРОСАМОЛЕТОВ**

В.Ю. ВОЛОЩЕНКО,
канд. техн. наук
(ИРТСУ ЮФУ, Таганрог),
А.П. ВОЛОЩЕНКО,
канд. техн. наук,
Е.В. ВОЛОЩЕНКО,
магистрант
(ИНЭП ЮФУ, Таганрог)
v.voloshchenko@list.ru

Рассмотрены структурная схема и физические принципы функционирования корреляционного лага-эхолота для обеспечения безопасного приводнения и навигации беспилотного гидросамолета на акватории за счет обработки амплитудных и фазовых характеристик ультразвуковых эхосигналов с кратными, $f, 2f, 3f, \dots, nf$, частотами.

Гидроакустические средства, беспилотный гидросамолет, параметрическая излучающая антенна

**SEADROME: UNMANNED AMPHIBIOUS AERIAL VEHICLE SONAR
EQUIPMENT FOR LANDING-TAKEOFF AND WATER AREA NAVI-
GATION**

V.YU. VOLOSHCHENKO¹, A.P. VOLOSHCHENKO²,
AND E.V. VOLOSHCHENKO²

¹ Institute of Radioengineering Systems and Control,
Southern Federal University, Taganrog

² Institute of Nanotechnologies, Electronics and Equipment Engineering,
Southern Federal University, Taganrog

The structural diagram of the multi-frequency correlation log-echo sounder and its operation fundamentals are considered for providing the safe landing and water area navigation of an unmanned amphibious aerial vehicle by means of processing both the amplitude and phase characteristics of the ultrasonic echoes with multiple $f, 2f, 3f, \dots, nf$ frequencies.

Sonar navigation equipment, unmanned amphibious aerial vehicle, parameterized radiating array

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА БОРТУ ОДНОВИНТОВОГО ВЕРТОЛЕТА С ПОМОЩЬЮ НЕПОДВИЖНОГО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРИЕМНИКА

В.М. СОЛДАТКИН,

д-р техн. наук,

В.В. СОЛДАТКИН,

д-р техн. наук,

А.В. НИКИТИН,

канд. техн. наук

(КНИТУ-КАИ, Казань)

nikitin.rf@mail.ru

Раскрывается технология измерения воздушных параметров на борту одновинтового вертолета с использованием информации аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта, воспринимаемого неподвижным многофункциональным приемником, выполненным по двухканальной схеме – с ионно-меточным и аэрометрическим каналами. Приводятся алгоритмы формирования и обработки информации, технические характеристики системы, полученные по результатам исследования экспериментальных образцов в аэродинамической трубе.

Одновинтовой вертолет, воздушные параметры, измерение, технология, неподвижный приемник, двухканальная схема, алгоритмы, оценка точности

TECHNOLOGY OF MEASURING AIR PARAMETERS ABOARD THE SINGLE-ROTOR HELICOPTER USING A FIXED MULTIFUNCTIONAL RECEIVER

V.M. SOLDATKIN, V.V. SOLDATKIN, AND A.V. NIKITIN

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

The technology is revealed for measuring air parameters aboard the single-rotor helicopter using the information of the aerodynamic field of a main rotor vortex column perceived by a fixed multifunctional receiver made as a two-channel scheme with an ion-mark and aerometric channels. The algorithms of forming and processing the information, technical characteristics of the system obtained by the results of the study of experimental samples in the wind tunnel are given.

Single-rotor helicopter, air parameters, measurement, technology, fixed receiver, two-channel scheme, algorithms, accuracy estimation

УПРАВЛЕНИЕ СБЛИЖЕНИЕМ ДВУХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ПОМОЩЬЮ ТРОСОВОЙ СИСТЕМЫ

В.С. АСЛАНОВ,
д-р техн. наук,
Р.С. ПИКАЛОВ,
аспирант,
Е.Р. ГУНЧИН,
студент

(Самарский ун-т, Самара)
pickalovrs@gmail.com

Изучается процесс сближения двух космических аппаратов (пассивного и активного) с помощью тросовой системы. Предложено два закона управления тросом, обеспечивающих безопасное сближение. Определена минимально допустимая тяга активного аппарата и параметры законов управления, при которых реализуется безударное сближение. На основе результатов численного моделирования показана возможность управления тросом с использованием предложенных законов.

Космическая тросовая система, сближение космических аппаратов, космический мусор, управление

CONTROL OF THE RENDEZVOUS OF TWO SPACECRAFT USING A TETHER SYSTEM

V.S. ASLANOV, R.S. PIKALOV, AND E.R. GUNCHIN

Samara University, Samara

The rendezvous of two spacecraft (passive and active) using a tether system is studied. A simplified model of a system consisting of two points connected by an inextensible tether is used. Two laws of the tether control are proposed to ensure the safe rendezvous of bodies. A minimum allowable thrust of the active spacecraft and the parameters of the tether control laws are defined, under which the rendezvous is implemented safe. Based on the results of numerical simulation, the ability to control the tether using the proposed laws is showed.

Space tether system, rendezvous of spacecraft, space debris, control