

Нелинейное деформирование и устойчивость анизогридных круговых цилиндрических оболочек при чистом изгибе и внутреннем давлении

Получены результаты исследований на основе методики, реализующей метод конечных элементов для решения задач прочности и устойчивости дискретно-подкрепленных цилиндрических оболочек, выполненных из композиционного материала, с учетом моментности и нелинейности их докритического напряженно-деформированного состояния. Исследована устойчивость при чистом изгибе с внутренним давлением анизогридной круговой цилиндрической оболочки из композиционного материала. Выяснено влияние нелинейности деформирования, жесткости подкрепляющего набора, углов укладки подкреплений и толщины оболочки и внутреннего давления на критические нагрузки потери устойчивости оболочки.

Л.П. ЖЕЛЕЗНОВ,

д-р техн. наук

(СибНИА

им. С.А. Чаплыгина,

Новосибирск)

zheleznovlp@yandex.ru

Чистый изгиб, внутреннее давление, цилиндрические композитные оболочки, нелинейное деформирование, устойчивость, метод конечных элементов, внутреннее давление

Nonlinear Deformation and Stability of Anisogrid Circular Cylindrical Shells under Pure Bending and Internal Pressure

L.P. ZHELEZNOV

SibNIA named after S.A. Chaplygin, Novosibirsk

The research results are obtained on the basis of a technique implementing the finite element method for solving problems of strength and stability of discrete-reinforced cylindrical shells made of the composite material, taking into account the momentness and nonlinearity of their subcritical stress-strain state. The stability under pure bending with internal pressure of an anisogrid circular cylindrical shell made of a composite material is investigated. The deformation nonlinearity effect, reinforcing set stiffness, reinforcement layup angles, shell thickness and internal pressure on the critical loads of the shell instability is determined.

Pure bending, internal pressure, cylindrical composite shells, nonlinear deformation, stability, finite element method

Динамическое поведение неравномерно нагретой тонкостенной параболической оболочки летательного аппарата с учетом наличия дополнительной массы в условиях воздействия ударной волны

Исследуется динамическое поведение неравномерно нагретой тонкостенной параболической оболочки вращения с дополнительной массой в условиях высокоинтенсивного нагружения ударной волной в газовой среде. Напряженно-деформированное состояние оболочки, возникающее в результате предварительного неравномерного нагрева ее поверхности, определяется из решения уравнений термоупругого равновесия. Решение задачи динамического поведения оболочки состоит в интегрировании нелинейных уравнений движения оболочки и присоединенной к ней дополнительной массы при заданных начальных смещениях, нулевых начальных скоростях и граничных условиях, соответствующих закреплению оболочки.

И.К. ТУРКИН,
д-р техн. наук
(МАИ, Москва)
TurkinIK@mai.ru

Оболочка, масса, летательный аппарат, термосиловое нагружение

Dynamic Behavior of an Unevenly Heated Thin-Walled Parabolic Aircraft Shell, Taking into Account The Presence of Additional Mass under the Influence of a Shock Wave

I.K. TURKIN

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

The article investigates the dynamic behavior of an unevenly heated thin-walled parabolic shell of rotation with additional mass under conditions of high-intensity shock wave loading in a gaseous medium. The stress-strain state of the shell resulting from the preliminary uneven heating of its surface is determined from the solution of the equations of thermoelastic equilibrium. The solution to the problem of dynamic behavior of a shell involves integrating the nonlinear motion equations of the shell, as well as the additional mass that is attached to it, under given initial displacements, initial velocities of zero, and boundary conditions that correspond to the attachment of the shell.

Shell, mass, aircraft, thermal force loading

Влияние угла раствора прямоугольных в плане вырезов на напряженно-деформированное состояние трехслойных цилиндрических отсеков

Представлена модель послойного конечно-элементного анализа напряженно-деформированного состояния трехслойных цилиндрических оболочек. Исследовано влияние угла раствора прямоугольных в плане вырезов на напряженно-деформированное состояние трехслойных цилиндрических отсеков.

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

Трехслойные цилиндрические оболочки, прямоугольные в плане вырезы, напряженно-деформированное состояние, модель послойного конечно-элементного анализа

The Influence of the Angular Dimension of Rectangular Cutouts on the Stress and Strain State of Sandwich Cylindrical Compartments

V.N. BAKULIN

IAM RAS, Moscow

A model is presented for layer-by-layer finite element stress-strain analysis of sandwich cylindrical shells. The influence of the angular dimension of rectangular cutouts on the stress and strain state of sandwich cylindrical compartments has been studied.

Sandwich cylindrical shells, rectangular cutouts, stress and strain state, layer-by-layer finite element analysis model

Подавление явления раскачки самолета летчиком различных категорий путем использования средств автоматизации

А.В. ЕФРЕМОВ,
д-р техн. наук,
Е.В. ЕФРЕМОВ,
канд. техн. наук,
А.И. ЩЕРБАКОВ,
аспирант
(МАИ, Москва)
pvl@mai.ru

Приведены разработанные в МАИ алгоритмы функционирования нескольких вариантов «пассивных» и «активных» средств подавления явления PIO. Путем проведения экспериментальных исследований на пилотажном стенде выполнена оценка эффективности использования этих средств при подавлении явления раскачки самолета летчиком различных категорий. Рассмотрена интеграция «пассивных» и «активных» средств.

Раскачка самолета летчиком, явление PIO, активный рычаг управления, нелинейный ограничитель система самолет – летчик

Suppression of Pilot-Induced Oscillations of Various Categories Using Augmentation Means

A.V. EFREMOV, E.V. EFREMOV, AND A.I. SCHERBAKOV

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

This paper presents algorithms for several “passive” and “active” means of PIO suppression developed at MAI. By conducting experimental studies using a ground-based simulator, the effectiveness of using these means in suppressing PIOs of various categories is assessed. The integration of “passive” and “active” means is considered.

Pilot-induced oscillations, PIO event, active control stick, nonlinear limiter, pilot-vehicle system

В.А. ШЕВЦОВ,
д-р техн. наук
(МАИ, Москва),
А.В. ТИМОШЕНКО,
д-р техн. наук
(Ярославское высшее
военное училище
противовоздушной
обороны, Ярославль),
С.Н. РАЗИНЬКОВ,
д-р физ.-мат. наук
(ВУНЦ ВВС «ВВА»,
Воронеж)
vs@mai.ru

Оценка состояния безопасности полета воздушного судна на основе анализа рисков авиационных инцидентов

Проведен анализ функций риска авиационного инцидента в полете воздушного судна при плотностях вероятности наступления ущерба, представимых регулярными одно- и двухпараметрическими распределениями. Получены оценки интегрального и пикового значений и установлены закономерности изменения риска, найдены моды, средние значения и стандартные отклонения ущерба вследствие авиационных инцидентов. Исследованы возможности минимизации рисков наступления ущерба при обеспечении безопасности полета воздушного судна.

Безопасность полета воздушного судна, авиационный инцидент, функция риска и плотность вероятности наступления ущерба

Aircraft Flight Safety Assessment Based on Aviation Incident Risk Analysis

V.A. SHEVTSOV¹, A.V. TIMOSHENKO¹, AND S.N. RAZIN'KOV²

¹Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

²Russian Air Force Military Educational and Scientific Center "Air Force Academy", Voronezh

An analysis of the risk functions of an aviation incident in the flight of a stuffy vessel was carried out at the densities of the probability of damage presented by regular one- and two-parameter distributions. Estimates of integral and peak values were obtained and patterns of risk changes were established, modes, average values and standard deviations of damage due to aviation incidents were found. The possibilities of minimizing the risks of damage while ensuring the safety of the aircraft flight were investigated.

Aircraft flight safety, aviation incident, risk function and probability density

Влияние частиц дисперсной примеси на структуру вихревого кольца и его распространение

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

Развивается подход к моделированию нестационарных осесимметричных вихревых течений газодисперсной среды с несжимаемой несущей фазой. Проводится численное моделирование формирования вихревого кольца, захвата им частиц дисперсной примеси и переноса частиц с учетом влияния дисперсной фазы на вихревую структуру потока. Для численных расчетов применяются нестационарные уравнения Навье – Стокса для вязкой несжимаемой жидкости. Движение частиц описывается на основе дискретно-траекторного подхода пробных частиц. Результаты расчетов позволяют установить особенности переноса и поведения частиц различной инерционности в вихревых кольцах, а также изменение характеристик вихревого кольца в присутствии частиц различного размера и концентрации.

Вихревое кольцо, частица, распространение, концентрация

Influence of Dispersed Particles on Structure of Vortex Ring and Its Propagation

K.N. VOLKOV, V.N. EMELIANOV, AND I.E. KAPRANOV

Baltic State Technical University “Voenmeh”, Saint Petersburg

An approach to modelling unsteady axisymmetric vortex flows of a gas-dispersed mixture with an incompressible carrier phase is developed. Numerical modelling of the formation of a vortex ring, its capture of dispersed particles and particle transfer is carried out, taking into account the influence of the dispersed phase on the vortex structure of the flow. For numerical simulations, unsteady Navier–Stokes equations for a viscous incompressible fluid are used. The movement of particles is described based on the discrete-trajectory approach of sample particles. The calculation results make it possible to establish the features of the transfer and behaviour of particles of different inertia in vortex rings, as well as changes in the characteristics of the vortex ring in the presence of particles of different sizes and concentrations.

Vortex ring, particle, propagation, concentration

Е.Ю. ПРОСВИРЯКОВ,

д-р физ.-мат. наук

(Институт

машинovedения УрО РАН,

Екатеринбург;

УрФУ, Екатеринбург;

КНИТУ-КАИ, Казань),

О.А. ЛЕДЯНКИНА,

канд. техн. наук

(КНИТУ-КАИ, Казань),

Л.С. ГОРУЛЕВА

(Институт

машинovedения УрО РАН,

Екатеринбург;

УрФУ, Екатеринбург)

evgen_pros@mail.ru

Точные решения уравнений Навье – Стокса для описания течений многокомпонентных жидкостей с учетом внутреннего тепловыделения

Найден новый класс точных решений уравнений Навье – Стокса для описания многослойных несжимаемых сред с джоулевой диссипацией энергии. Поле скоростей описывается линейными формами относительно двух пространственных координат (класс точных решений Линя – Сидорова – Аристова). Поле давления и поле температуры являются квадратичными формами с аналогичной зависимостью от координат и для коэффициентов как в классе Линя – Сидорова – Аристова.

Точные решения, класс Линя – Сидорова – Аристова, уравнения Навье – Стокса, диссипативная функция, многослойная жидкость

Exact Solutions of the Navier–Stokes Equations for Describing the Flow of Multicomponent Fluids with Internal Heat Generation

E.YU. PROSVIRYAKOV^{1,2,3}, O.A. LEDYANKINA³, AND L.S. GORULEVA^{1,2}

¹ Institute of Engineering Science, Ural Branch of the RAS, Ekaterinburg

² Ural Federal University, Ekaterinburg

³ Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

A new class of exact solutions of the Navier–Stokes equations has been found to describe multilayer incompressible media with Joule energy dissipation. The velocity field is described by linear forms with respect to two spatial coordinates (the class of exact solutions of Lin–Sidorov–Aristov). The pressure field and temperature field are quadratic forms with a similar dependence on coordinates and for coefficients as in the Lin–Sidorov–Aristov class.

Exact solutions, convection, Oberbeck–Boussinesq equations, dissipative function, diffusion, binary fluid

М.В. ШИРОКОВ,
аспирант,
Д. Ю. СТРЕЛЕЦ,
канд. техн. наук
(МАИ, Москва),
И.Г. БАШКИРОВ,
д-р техн. наук
(ЦАГИ
им. Н.Е. Жуковского,
Жуковский)
Gittwell@outlook.com

Оптимизация аэродинамической формы изолированного крыла сверхзвукового пассажирского самолета второго поколения

Рассматривается задача оптимизации аэродинамической формы изолированного крыла сверхзвукового пассажирского самолета второго поколения на основе решения осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье – Стокса. Приведен общий алгоритм оптимизации с учетом 253 проектных переменных и 188 ограничений. В результате оптимизации удалось увеличить аэродинамическое качество изолированного крыла на 7,41 % по отношению к первоначальной конфигурации.

Сверхзвуковые пассажирские самолеты, оптимизация, крыло, параметризация геометрии, алгоритм

Aerodynamic Shape Optimization of the Isolated Wing of a Second-Generation Supersonic Passenger Aircraft

M.V. SHIROKOV¹, D.YU. STRELETS¹, AND I.G. BASHKIROV²

¹Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

²Central Aerohydrodynamic Institute, Zhukovsky

The article considers the problem of aerodynamic shape optimization of an isolated wing of a second-generation supersonic passenger aircraft based on solving the RANS equations. A general optimization algorithm is presented with 253 design variables and 188 constraints. As a result of optimization, it was possible to increase the aerodynamic quality of the isolated wing by 7.41% relative to the original configuration.

Supersonic passenger aircrafts, optimization, wing, geometry parameterization, algorithm

Разработка рекомендаций по построению расчетной сетки для численного моделирования типовых внутренних и внешних течений применительно к задачам авиационной техники

С.К. ОСИПОВ,
канд. техн. наук,

П.А. БРЫЗГУНОВ,
аспирант,

В.П. СОКОЛОВ,
д-р техн. наук,

И.В. ШЕВЧЕНКО,
д-р техн. наук,

И.А. МИЛЮКОВ,
канд. техн. наук

(ФГБОУ ВО НИУ
«МЭИ», Москва)

bryzgunovpa@mpei.ru

Разработаны рекомендации по определению размеров ячеек расчетной сетки при численном моделировании внешних и внутренних течений применительно к задачам авиации. Рекомендации получены в виде критериальных соотношений, связывающих безразмерный масштаб глобального элемента сетки с режимными и геометрическими характеристиками, что позволяет априорно оценить размер ячейки, обеспечивающий сеточную сходимость решения. Представлены результаты разработки корреляций для типовых каналов системы охлаждения лопаток турбин, а также для типичного крылового профиля.

Опережающая верификация результатов численного моделирования, рекомендации по построению расчетной сетки, крыловой профиль NACA-2412, канал с внезапным расширением, канал с внезапным сужением, осесимметричный диффузор

Research and Development of Recommendations for Building a Computational Grid for Numerical Flow Simulation of Typical Internal and External Problems in Relation to Aviation Engineering Problems

S.K. OSIPOV, P.A. BRYZGUNOV, V.P. SOKOLOV, I.V. SHEVCHENKO, AND I.A. MILUKOV

National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow

Recommendations have been developed for estimating the size of computational grid cells in the numerical modeling of external and internal flows in relation to aviation problems. Recommendations are obtained in the form of criterial relations connecting the dimensionless scale of the global grid element with regime and geometric characteristics, which makes it possible to a priori estimate the cell size that ensures grid convergence of the solution. The article presents the results of developing correlations for typical channels of a turbine blade cooling system, as well as for a typical airfoil.

Advanced validation of numerical simulation results, recommendations for building a computational mesh, NACA 2412 airfoil, channel with sudden expansion, channel with sudden reduction, axisymmetric diffuser

К.В. МИГАЛИН,
канд. техн. наук,
Д.А. ЧАРНЦЕВ,
канд. техн. наук
(ООО НПФ «Ротор»,
Тольятти),
К.А. СИДЕНКО,
студент
(ТГУ, Тольятти)
migalink7@gmail.com

О влиянии внутренней аэродинамики и скорости горения топлива на тягу бесклапанного пульсирующего воздушно-реактивного двигателя

Приводятся результаты экспериментального и численного исследования рабочего процесса бесклапанного пульсирующего воздушно-реактивного двигателя. Обсуждается возможность форсирования двигателя за счет изменения внутренней аэродинамики и ускорения процесса горения. Полученные результаты сопоставляются с теорией устойчивости Релея и делается предположение о целесообразности согласования скорости горения с волновым процессом газообмена.

Бесклапанный пульсирующий воздушно-реактивный двигатель, скорость горения топлива, теория устойчивости Релея, акустические исследования

On the Effect of Internal Aerodynamics and Fuel Combustion Rate on the Thrust of a Valve-Less Pulsejet Engine

K.V. MIGALIN¹, D.A. CHARNTSEV¹, AND K.A. SIDENKO²

¹Rotor RPC Ltd, Togliatti

²TSU, Togliatti

The paper presents the results of an experimental and numerical study of the operating process of a valve-less pulsating airbreathing jet engine. The possibility of boosting the engine by changing the internal aerodynamics and accelerating the combustion process is discussed. The results are compared to the Rayleigh stability theory and an assumption is made about the feasibility of matching the combustion rate with the gas exchange wave process.

Valveless pulsating airbreathing jet engine, fuel combustion rate, Rayleigh stability theory, acoustic studies

Повышение точности определения характеристик многокаскадных осевых турбин авиационных двигателей с использованием трехмерного численного моделирования

Приведен анализ влияния на характеристики многокаскадных осевых турбин авиационных двигателей факторов, которые традиционно не учитываются при расчете характеристик с использованием трехмерного численного моделирования: шероховатость поверхности лопаток и трактовых полок, упрощение геометрии выходных кромок лопаток при наличии окон выпуска охлаждающего воздуха (замена окон на гладкую поверхность), а также совместное влияние каскадов друг на друга. На примере двухкаскадной охлаждаемой турбины авиационного двигателя выполнена оценка влияния данных факторов на кпд-характеристики и характеристики пропускной способности каскадов турбины, а также предложен подход к коррекции характеристик для повышения их точности при передаче в термодинамическую модель двигателя. Определено, что наибольшая коррекция требуется для кпд-характеристики, обусловленная влиянием шероховатости поверхности лопаток и трактовых полок.

Г.М. ПОПОВ,

канд. техн. наук,

В.М. ЗУБАНОВ,

техн. наук,

Е.С. ГОРЯЧКИН,

канд. техн. наук,

А.И. ЩЕРБАНЬ

(Самарский ун-т, Самара)

akorneeva94@mail.ru

Газотурбинный двигатель, многокаскадная турбина, коррекция характеристик, кпд, пропускная способность, шероховатость, выходная кромка

Improving the Accuracy of Performance Calculation of Multistage Axial Turbines of Aircraft Engines Using Three-Dimensional Numerical Modeling

G.M. POPOV, V.M. ZUBANOV, E.S. GORIACHKIN, AND A.I. SHCHERBAN

Samara University, Samara

The paper presents an analyses of the influence on the performance of multi-cascade axial turbines of aircraft engines of the factors that are traditionally not taken into account when calculating the characteristics using three-dimensional numerical modeling: surface roughness of blades and path shelves, simplification of the geometry of blade trailing edges in the case of cooling air outlet windows (replacing the windows with a smooth surface), as well as the combined influence of cascades on each other. On the example of a two-stage cooled turbine of an aircraft engine, the influence of these factors on the efficiency and throughput of the turbine cascades has been evaluated, and an approach to the correction of characteristics to improve their accuracy when transferring them to the thermodynamic model of the engine has been taken. It is determined that the largest correction is required for the efficiency performance due to the influence of blade surface roughness.

Gas turbine engine, multistage turbine, performance correction, efficiency, throughput, roughness, trailing edge

И.А. ПОПОВ,

д-р техн. наук,

М.В. ГУРЕЕВ,**В.М. ГУРЕЕВ,**

д-р техн. наук,

(КНИТУ-КАИ,

Казань),

Ю.В. ЖУКОВА,

канд. физ.-мат. наук,

А.Д. ЧОРНЫЙ,

канд. физ.-мат. наук

(Институт тепло- и

массообмена

им. А.В. Лыкова

НАН Беларуси, Минск,

Беларусь)

popov-igor-alex@yandex.ru

Численное моделирование системы смазки авиационных поршневых двигателей

Представлены результаты, послужившие методической основой для создания цифрового двойника системы смазки поршневого двигателя. На первом этапе была построена трехмерная модель (CAD-модель) масляного насоса и масляной магистрали системы смазки двигателя. На втором этапе предложен метод реверс-инжиниринга рабочих характеристик насоса и построена его рабочая характеристика. Затем, на третьем этапе, модели героторного масляного насоса и магистрали были верифицированы на основе экспериментальных данных, что позволило создать обратную связь для цифрового двойника. На основе проведенных расчетов выработаны рекомендации по повышению точности построения цифровых двойников героторного масляного насоса и масляной магистрали.

Система смазки, масляный насос, рабочая характеристика насоса, масляная магистраль, потери давления, численное моделирование, цифровой двойник

Numerical Simulation of the Lubrication System of Aircraft Piston EnginesI.A. POPOV¹, M.V. GUREEV¹, V.M. GUREEV¹, YU.V. ZHUKOVA², AND A.D. CHORNY²¹Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan²Lykov Institute of Heat and Mass Transfer of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

This article presents the results that served as a methodological basis for creating a digital twin of a piston engine lubrication system. At the first stage, a three-dimensional model (CAD model) of the oil pump and the oil line of the engine lubrication system was built. At the second stage, a method of reverse engineering of the pump's performance characteristics is proposed and its operating characteristics are constructed. Then, at the third stage, the models of the rotary oil pump and the main line were verified based on experimental data, which made it possible to create feedback for the digital twin. Based on the calculations carried out, recommendations have been developed to improve the accuracy of constructing digital twins of a gerotor oil pump and an oil line.

Lubrication system, oil pump, pump performance, oil line, pressure loss, numerical simulation, digital twin

Модель конвективно-пленочного охлаждения пластины с учетом нестационарности потока и сжимаемости газа

А.Л. ТУКМАКОВ,
д-р физ.-мат. наук,
А.А. АХУНОВ,
Н.А. ТУКМАКОВА,
канд. техн. наук,
В.В. ХАРЬКОВ,
канд. техн. наук
(КНИТУ-КАИ,
Казань)
tukmakov@imm.knc.ru

Представлены численная модель и результаты расчетов конвективно-пленочного охлаждения пластины при двустороннем ее обтекании высокотемпературным потоком газа и охлаждающим воздухом. При построении математической модели используется гибридная 2D-методология RANS в нестационарной постановке для вязкого сжимаемого теплопроводного газа с применением скоростных и тепловых пристеночных функций с сопряжением газодинамической и тепловой задач.

Численное моделирование, уравнения Навье – Стокса, схема Мак-Кормака, многосвязные области, пристеночные функции, конвективно-пленочное охлаждение

Model of Convective-Film Cooling of Plate with Flow Non-Stationarity and Gas Compressibility

A.L. TUKMAKOV, A.A. AKHUNOV, N.A. TUKMAKOVA, AND V.V. KHAR'KOV

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

A numerical model and results of calculations of convective-film cooling of a plate with a double-sided flow around it by high-temperature gas and cooling air are presented. The mathematical model is based on the hybrid 2-D RANS method in a nonstationary formulation for a viscous compressible heat-conducting gas using velocity and thermal wall functions with conjugation of fluid dynamics and heat transfer problems. The thermal and velocity fields of gas and the temperature field of the plate are calculated, and the parameters of the cooling film formed by jets of low-temperature gas flowing through a system of inclined slot channels and interacting with high-temperature flow are described.

Numerical modeling, Navier–Stokes equations, MacCormack scheme, multiply connected regions, wall functions, convective-film cooling

Перспективная схема применения искусственных нейронных сетей для повышения качества диагностики и объективности прогнозирования технического состояния агрегатов винтокрылых летательных аппаратов

Представленная статья является продолжением исследований применения искусственных нейронных сетей для повышения качества диагностики и объективности прогнозирования технического состояния агрегатов винтокрылых летательных аппаратов (ВКЛА). На базе разработанного для данных исследований полунатурного стенда-прототипа комплексной диагностической системы оценки технического состояния основных функциональных систем и агрегатов ВКЛА представлена перспективная схема применения искусственных нейронных сетей и сформирован методический подход внедрения нейросетевых технологий для оценки времени жизни каждого компонента системы мониторинга работоспособности определяющих летно-технические характеристики ВКЛА.

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

Винтокрылый летательный аппарат, вертолетная техника, искусственная нейронная сеть, парадигма, предиктивная модель

A Promising Scheme to the Utilization of Artificial Neural Networks in Order to Enhance the Accuracy of Diagnostics and Objectivity of Predicting the Technical Condition of Rotorcraft Components

A.B. BELSKII, O.A. ESIPOVICH, AND B.B. SAFOKLOV

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

The presented article is a continuation of research on the use of artificial neural networks to improve the quality of diagnostics and the objectivity of forecasting the technical condition of rotary-wing aircraft (RWA). On the basis of a semi-natural prototype stand developed for these studies of an integrated diagnostic system for assessing the technical condition of the main functional systems and units of the RWA, the authors presented a promising scheme for the use of artificial neural networks and formed a methodological approach to the introduction of neural network technologies to assess the lifetime of each component of the performance monitoring system determining the flight characteristics of the RWA.

Rotary-wing aircraft, helicopter technology, artificial neural network, paradigm, predictive model

Оптимальный синтез контура стабилизации силовых гироскопических стабилизаторов

Рассмотрены методы синтеза оптимальных регуляторов с учётом возмущений с известными спектральными характеристиками и неопределённых возмущений, ограниченных по L_∞ -норме, применительно к контуру стабилизации силового гироскопического стабилизатора. Для практического применения произведено понижение порядка регуляторов. Проанализированы достоинства и недостатки рассмотренных методов синтеза с точки зрения специфики гиросtabilизаторов.

К.О. ЛУКИН,
аспирант,

С.В. КРИВОШЕЕВ,

канд. техн. наук

(КНИТУ-КАИ, Казань)

Kirill.O.Lukin@yandex.ru

Гиросtabilизатор, контур стабилизации, оптимальный синтез, случайные возмущения, L_∞ -ограниченные возмущения, линейные матричные неравенства, понижение порядка регулятора

An Optimal Control Synthesis for a Gyro Stabilized Platform's Stabilization Loop

K.O. LUKIN AND S.V. KRIVOSHEEV

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

Optimal control methods of a gyro-stabilized platform's stabilization loop in the presence of disturbances with known power spectral densities or with known bounded L_∞ -norms are considered. To ease practical implementation, controller order reduction is conducted. Advantages and possible shortcomings of the considered methods are discussed.

Gyro-stabilized platform, stabilization loop, optimal control, stochastic disturbances, L_∞ -norm bounded disturbances, linear matrix inequalities, controller order reduction

Фреттинг-изнашивание химических NiP покрытий, осажденных на детали ДЛА и ЭУ, полученных методом селективного лазерного сплавления из сплава AlSi10Mg

Данная работа посвящена исследованию сравнительных трибологических характеристик алюминиевого сплава AlSi10Mg, полученного методом СЛС, с NiP-покрытием на поверхности и без покрытия. Были проведены исследования при различных режимах трения, а именно нагрузке и перемещения контртела. Трибологические испытания показали, что износ NiP-покрытий имеет абразивно-окислительный характер для всех исследованных случаев. Установлено, что объемный износ образцов без покрытий в сопоставимых условиях трения в 3-4 раза больше, чем у образцов с покрытием. Также в работе проведены исследования по оценке возможности нанесения NiP-покрытий на поверхности тонких внутренних каналов деталей ДЛА и ЭУ. Установлено, что покрытие успешно осаждается на внутренних поверхностях узких каналов, образуя равномерный слой без разрывов. Толщина покрытий на внутренних поверхностях на 1-2 мкм меньше, чем на внешних при всех исследуемых режимах осаждения.

И.Р. АСЛАНЯН,
д-р техн. наук,
М.С. ЕРЕМКИНА,
аспирант,
А.В. ИОНОВ,
канд. техн. наук,
(МАИ, Москва)
m.nedosukova@mail.ru

Фреттинг, изнашивание, NiP-покрытие, селективное лазерное сплавление, микроструктура

Fretting-Wear of Chemical NiP Coatings Deposited on Parts for Aircraft Engines and Power Plants Obtained by Selective Laser Melting from AlSi10Mg Alloy

I.R. ASLANYAN, M.S. EREMKINA, AND A.V. IONOV

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

This work is dedicated to the investigation of comparative tribological characteristics of the AlSi10Mg aluminum alloy obtained by the SLS method, with and without NiP coating on the surface. Studies were conducted under various friction conditions, namely load and displacement of the counterbody. Tribological tests showed that the wear of NiP coatings has an abrasive-oxidative nature for all investigated cases. It was found that the volumetric wear of uncoated samples under comparable friction conditions is 3-4 times greater than that of coated samples. In addition, research was conducted to assess the possibility of applying NiP coatings on the surfaces of thin internal channels of parts for aircraft engines and power plants. It was established that the coating is successfully deposited on the inner surfaces of narrow channels, forming a uniform layer without any gaps. The thickness of the coatings on the inner surfaces is 1-2 μm less than that on the outer surfaces in all investigated deposition modes.

Fretting, wear, NiP coating, selective laser cladding, microstructure

Механические характеристики деталей, изготавливаемых методом FDM-печати

Л.И. ГАРИПОВА,

канд. техн. наук,

А.С. БАТРАКОВ,

канд. техн. наук,

Ф.Ф. ХАБИБУЛЛИН,

канд. техн. наук

(КНИТУ-КАИ, Казань)

lyaysan_garipova@mail.ru

Проведен анализ влияния плотности заполнения на характеристики изделия, изготавливаемого методом FDM-печати. Экспериментальное исследование показало, что снижение плотности заполнения приводит к повышению удельной жесткости изделия. Проведены испытания образца с градиентным распределением материала. Показано, что градиентное распределение материала позволяет обеспечить высокую жесткость при уменьшении массы изделия.

3D-печать, аддитивные технологии, градиентное заполнение, жесткость, трехточечный изгиб

Mechanical Characteristics of Product Manufactured by FDM Printing

L.I. GARIPOVA, A.S. BATRAKOV AND F.F. KHABIBULLIN

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

This work analyzes the influence of fill density on the characteristics of a product manufactured by FDM printing. An experimental study showed that a decrease in filling density leads to an increase in the specific rigidity of the product. A sample with a gradient distribution of material was tested. It has been shown that the gradient distribution of the material allows for high rigidity while reducing the mass of the product.

3D printing, additive technologies, gradient filling, strength, 3pointed bending

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)
csg-gus@mail.ru

Исследование влияния эрозионного горения твердого топлива на внутрибаллистические параметры реактивного пénéтратора

Проанализирован механизм эрозионного горения пороха и учет его в РДТТ. Рассмотрены вопросы влияния эрозионного горения твердого топлива на изменение тяги двигателя реактивного пénéтратора. Представлена математическая модель расчета изменения параметров внутрикамерного процесса во времени с учетом их изменения по длине заряда для двигателя со свободно вложенным трубчатым зарядом. Полученные результаты расчетов подтверждают существенное влияние температуры заряда на внутрибаллистические параметры пénéтратора.

Пénéтратор, эрозионное горение, твердое топливо, скорость горения

Study of the influence of Erosive Combustion of Solid Fuel on the Intra-Ballistic Parameters of a Jet Penetrator

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

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

The mechanism of erosive combustion of gunpowder and its consideration in solid propellant rocket engines are analyzed. The issues of the influence of erosive combustion of solid fuel on changes in the thrust of a jet penetrator engine are considered. A mathematical model is presented for calculating changes in the parameters of the intra-chamber process over time, taking into account their changes along the length of the charge for an engine with a freely inserted tubular charge. The obtained calculation results confirm the significant influence of the charge temperature on the intra-ballistic parameters of the penetrator.

Penetrator, erosive combustion, solid fuel, burning rate

Определение области разрушения заготовки при глубокой вытяжке в коническую матрицу

Е.Г. ДЕМЬЯНЕНКО,
д-р техн. наук,
И.П. ПОПОВ,
д-р техн. наук,
Д.А. НИКОНОВ,
аспирант
(Самарский
университет, Самара)
hel250@yandex.ru

Представлена методика для определения области разрушения листовых материалов при использовании процесса комбинированной глубокой вытяжки. Используя линейную схему напряженно-деформированного состояния на фланце заготовки, получаем критическую относительную толщину в момент формообразования плоской заготовки в конус. Это позволяет определить область разрушения заготовки в начальный момент гофрообразования.

Глубокая вытяжка, предельный коэффициент вытяжки, коническая матрица, напряжения

Determination of the Area of Workpiece Destruction during Deep Drawing Conical Die

E.G. DEMYANENKO, I.P. POPOV, AND D.A. NIKONOV

Samara University, Samara

A technique is presented for determining the area of destruction of sheet materials using the combined deep drawing process. Using a linear diagram of the stress-strain state on the workpiece flange, we obtain the critical relative thickness at the moment of shaping the flat workpiece into a cone. This makes it possible to determine the area of destruction of the workpiece at the initial moment of corrugation.

Deep drawing, limiting drawing ratio, conical die, stress

Д.Ю. КОНСТАНТИНОВ,
В.И. ХАЛИУЛИН,
д-р техн. наук,
В.В. БАТРАКОВ,
канд. техн. наук,
Р.Ю. ПЕТРУШЕНКО,
канд. техн. наук,
(КНИТУ-КАИ, Казань)
pla.kai@mail.ru

Исследование несущей способности композитных конструкций в зоне отверстия при различных схемах армирования

Проводится оценка несущей способности композитных высоконагруженных конструкций, изготовленных различными методами подготовки преформ. Исследованы механические характеристики конструктивно-подобных образцов расчетным и экспериментальным путем. Предложена технология для создания однооснонагруженных конструкций из композитов.

Интегральные конструкции, схемы армирования, напряжения в зоне отверстий, направленная укладка волокна, преформа, композиционный материал.

A Study of the Load-Bearing Capacity of Composite Structures, Having Various Reinforcement Patterns, in the Zone of the Open Hole

D.YU. KONSTANTINOV, V.I. KHALIULIN, V.V. BATRAKOV, AND R.YU. PETRUSHENKO

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

The paper describes the estimation of the load-bearing capacity of highly loaded composite structures with preforms produced by various methods. Mechanical properties of structurally similar specimens were studied using simulated and experimental data. A technology for the production of uniaxially loaded composite structures is proposed.

Integral structures, reinforcement patterns, stresses in the zone of the open hole, tailored fiber placement, preform, composite material

Термоформование изделий из консолидированных листовых заготовок на основе армированного стеклотканью полипропилена

Р.И. СОЛОВЬЕВ,
аспирант
(КНИТУ-КАИ, Казань),
Д.А. БАЛЬКАЕВ
(КФУ, Казань),
Л.М. АМИРОВА,
д-р хим. наук
(КНИТУ-КАИ, Казань)
rilov992@mail.ru

Представлена технология безавтоклавной консолидации термопластичного композиционного материала на основе полипропилена и стеклоткани. Оптимизированы температурно-временные режимы консолидации и термоформования методами дифференциальной сканирующей калориметрии и реометрии. Описана методика проведения вакуумно-термической консолидации и прессования, позволяющая получать консолидированные пластины, являющиеся заготовками при термоформовании. Проведено термоформование тестового изделия «двойной купол».

Термопластичные композиционные материалы, консолидация, термоформование, полипропилен, стеклопластик, двойной купол

Thermoporming of Products from Consolidated Sheet Blanks Based on Glass Fabric Reinforced Polypropylene

P.I. SOLOV'EV¹, D.A. BAL'KAEV², AND L.V. AMIROVA¹

¹Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

²Kazan Federal University, Kazan

A technology for non-autoclave consolidation of thermoplastic composite material based on polypropylene and fiberglass is presented. The temperature-time regimes of consolidation and thermoforming were optimized using differential scanning calorimetry and rheometry methods. A technique for carrying out vacuum-thermal consolidation and pressing is described, which makes it possible to obtain consolidated plates, which are blanks for thermoforming. Thermoforming of the "double dome" test product was carried out.

Thermoplastic composites, consolidation, thermoforming, polypropylene, fiberglass, double dome

Экспериментальные исследования электромагнитной стойкости технических систем при электромагнитных воздействиях от нескольких источников

Р.Р. ГАЙНУТДИНОВ,
канд. техн. наук,
С.Ф. ЧЕРМОШЕНЦЕВ,
д-р техн. наук
(КНИТУ-КАИ, Казань)
emc-kai@mail.ru

Разработан экспериментальный стенд для исследования электромагнитной стойкости технических систем. Проведены экспериментальные исследования электромагнитных помех, наведенных на микрополосковую линию связи, при воздействии одновременно нескольких источников внешних электромагнитных воздействий.

Электромагнитная стойкость, сверхкороткие электромагнитные импульсы, экспериментальный стенд, электромагнитная помеха, техническая система

An Experimental Study of Technical Systems Electromagnetic Resistance Exposed to Electromagnetic Influences from Several Sources

R.R. GAYNUTDINOV AND S.F. CHERMOSHENTSEV

Tupolev Kazan National Research Technical University, Kazan

A test bench has been developed to study the electromagnetic resistance of technical systems and experimental studies have been carried out on electromagnetic interference induced on a microstrip communication line when simultaneously exposed to several sources of external electromagnetic influences.

Electromagnetic resistance, ultrashort electromagnetic pulses, test bench, electromagnetic interference, technical system

Вычислительный эксперимент в задаче о флаттере цилиндрической оболочки

Рассматривается флаттер цилиндрической оболочки конечной длины, не осесимметричный случай. Приведен современный алгоритм без насыщения, рассмотрены конкретные расчеты, показавшие его высокую эффективность. Показано, что критическая скорость флаттера мало зависит от n (числа окружных волн).

С.Д. АЛГАЗИН,
д-р физ.-мат. наук
(ИПМех РАН, Москва)
algazinsd@mail.ru

Цилиндрическая оболочка, задачи на собственные значения, численный алгоритм без насыщения, флаттер

Computational Experiment in the Flutter Problem of a Cylindrical Shell

S.D. ALGAZIN

Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS, Moscow

The flutter of a cylindrical shell of finite length, not an axisymmetric case, is considered. A modern algorithm without saturation is given, and specific calculations that have shown its high efficiency are considered. It is shown that the critical flutter velocity does not depend much on n (the number of circumferential waves).

Cylindrical shell, eigenvalue problems, numerical algorithm without saturation, flutter

Численное исследование влияния геометрических характеристик наклонной трещины турбинной лопатки профиля R-2617A на разрушающее давление в системе обнаружения повреждений

Исследуется проблема обнаружения трещин в лопатках газовых турбин в режиме работы двигателя. Проведены серии конечно-элементных расчетов предельного состояния капсул системы обнаружения трещин лопаток газотурбинного двигателя. В качестве объекта исследования рассмотрена турбинная лопатка профиля R-2617A. Проанализировано влияние геометрических характеристик – ширины раскрытия трещины турбинной лопатки, угла наклона трещины к радиусу и угла раскрытия трещины – на величину давления, при котором происходит разрушение капсул с активным веществом в системе диагностирования повреждений.

И.К. АНДРИАНОВ,

канд. техн. наук,

М.С. ГРИНКРУГ,

канд. техн. наук,

М. КАРА БАЛЛИ,

аспирант

(ФГБОУ ВО «КнАГУ»,

Комсомольск-на-Амуре)

ivan_andrianov_90@mail.ru

Турбинная лопатка, трещина, диагностика повреждений, метод конечных элементов

Numerical Study of the Influence of Inclined Crack Geometrical Characteristics in a Turbine Blade of Profile R-2617a on Failure Pressure in a Damage Detection System

I.K. ANDRIANOV, M.S. GRINKRUG, AND M. KARA BALLY

Komsomolsk-na-Amure State University, Komsomolsk-na-Amure

The problem of detecting cracks in the blades of gas turbines in the engine operation mode is investigated. A series of finite element calculations of the limiting state of the capsules of the crack detection system of the blades of a gas turbine engine have been carried out. The turbine blade of the R-2617A profile is considered as an object of the researcher. The influence of geometric characteristics – the width of the crack opening of the turbine blade, the angle of inclination of the crack to the radius and the angle of crack opening – on the pressure at which the capsules with the active substance are destroyed in the damage diagnosis system is analyzed.

Turbine blade, crack, damage diagnosis, finite element method

Методика контроля характеристик измерительного оборудования для испытания двигательных установок

Объектом исследования являются стендовые испытания объектов ракетно-космической техники. Предметом исследования является шестикомпонентное силоизмерительное устройство, используемое в испытательных стендах двигательных установок различного исполнения. В соответствии с государственными стандартами была разработана методика аттестации устройства и проведена статистическая обработка экспериментальных данных, подтверждающая их достоверность.

А.Р. ВОРОБЬЕВ,

аспирант,

В.Б. ФЕДОРОВ,

канд. техн. наук

(ЮУрГУ, Челябинск)

vorobevar@susu.ru

Двигательные установки, стендовые испытания, измерительные устройства, контроль характеристик

Methodology for Monitoring the Performance of Measuring Equipment for Testing Propulsion Systems

A.R. VOROB'EV AND V.B. FEDOROV

SUSU, Chelyabinsk

The object of the study is bench testing of rocket and space technology objects. The subject of the study is a six-component force-measuring device used in test benches of propulsion systems of various designs. In accordance with the state standards the methodology of device certification was developed and statistical processing of experimental data was carried out, confirming their reliability.

Propulsion systems, bench tests, measuring devices, performance control

Элементы алгоритма оптимизации технологического процесса вакуумной инфузии при изготовлении крупногабаритных изделий из полимерных композиционных материалов

В общем виде описаны подходы к оптимизации технологического процесса изготовления крупногабаритных изделий из полимерных композиционных материалов методом вакуумной инфузии. В частности, рассмотрена возможность оптимизации системы линий подачи связующего вещества в преформу при изготовлении изделий одинарной кривизны. Предложен вариант оптимизации технологического процесса вакуумной инфузии по критерию пористости. Представлена структурная схема данных технологического процесса, которая может являться частью алгоритма работы интеллектуального производственного оборудования, позволяющего обеспечивать оптимальные технологические параметры в режиме реального времени.

А.П. КОВАЛЬ,
аспирант,
И.О. БОБАРИКА,
канд. техн. наук
(ИРНИТУ, Иркутск)
kovalap@ex.istu.edu

Композиционные материалы, вакуумная инфузия, крупногабаритные изделия, оптимизация технологического процесса, стратегия инфузирования

Elements of the Algorithm for Optimizing the Technological Process of Vartm in the Manufacture of Large-Sized Products Made of Polymer Composite Materials

A.P. KOVAL, AND I.O. BOBARIKA

INRTU, Irkutsk

This article describes in general the approaches to optimizing the technological process of manufacturing large-sized products from polymer composite materials by vacuum infusion. In particular, the possibility of optimizing the system of lines for supplying the resin to the preform in the manufacture of single-curvature products was considered. An option has been proposed for optimizing the technological process of vacuum infusion based on the porosity criterion. A block diagram of process data was presented. This scheme can be part of the algorithm of operation of intelligent production equipment, which allows to ensure optimal technological parameters in real time.

Composite materials, VaRTM, large-sized products, technological process optimization, infusion strategy