

# САМОЛЕТО- И ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЕ

УДК 536.242

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В АВИАЦИОННОМ СТАРТЕР-ГЕНЕРАТОРЕ С КОМБИНИРОВАННЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

*С.М.Мусин, докт. техн. наук; Д.А.Ситин, канд. техн. наук;  
В.А.Калий, канд. техн. наук; А.С.Семенов (АО «Технодинамика»)*

E-mail: smusin@technodinamika.ru

Представлены методика учета анизотропии теплофизических свойств элементов конструкции стартер-генератора и анализ влияния величины эквивалентного коэффициента теплопроводности на тепловое состояние авиационной электрической машины.

**Ключевые слова:** электрический генератор с комбинированным возбуждением, охлаждение электрических генераторов, моделирование систем охлаждения.

MODELING OF HEAT EXCHANGE PROCESSES IN THE AIRCRAFT COMPOSITELY EXCITED STARTER-GENERATOR. *S.M.Musin, Dr.Techn.Sc; D.A.Sitin, Cand.Techn.Sc; V.A.Kaliy, Cand.Techn.Sc; A.S.Semenov.*

The authors present a method for taking account of thermophysical anisotropy of the starter-generator structural components and analysis of the effect of the heat conductivity equivalent factor value on the thermal condition of the aircraft electrical machine.

**Keywords:** compositely excited electrical generator, cooling of electrical generators, cooling system modeling.

УДК 004.942

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕРОНА ИЗ ПКМ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМАЛЬНОЙ МАССЫ

*Д.В.Прилуцкий; Л.Л.Фирсов; А.И.Ендогур, докт. техн. наук  
(Московский авиационный институт (национальный  
исследовательский университет))*

E-mail: l2.dp@mail.ru

Приведены общий и прикладной примеры применения разрабатываемого комплекса при решении задачи оптимизации конструкции по критерию минимальной массы.

**Ключевые слова:** оптимизация, авиационная конструкция, композиционные материалы, экономическая эффективность, жизненный цикл, цифровой двойник.

APPLICATION OF THE ENGINEERING DECISION SUPPORT SYSTEM TO OPTIMIZE THE PCM  
AILERON STRUCTURE UPON MINIMUM WEIGHT. *D.V.Prilutsky; L.L.Firsov;  
A.I.Endogur, Dr.Techn.Sc.*

General and specific examples of the application of the developed system to solve the problem of structural optimization upon minimum weight criterion are presented.

**Keywords:** optimization, aerostructure, PCM, cost effectiveness, life cycle, digital twin.

УДК 621.565.93/95

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НАГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ ПОДОГРЕВАТЕЛЯ ПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ С ШАРОВОЙ ЗАСЫПКОЙ ДЛЯ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ

*В.Ю.Александров*<sup>1</sup>, канд. техн. наук; *М.В.Силуянова*<sup>2</sup>, докт. техн. наук;  
*М.С.Французов*<sup>1</sup>; *А.П.Королёва*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Центральный институт авиационного моторо-  
строения им. П.И.Баранова;*

<sup>2</sup> *Московский авиационный институт (национальный  
исследовательский университет)*

E-mail: dc2mati@yandex.ru

Описана работа подогревателя прерывного действия с шаровой засыпкой для проведения высокоскоростных испытаний авиационных двигателей. Получены распределения температур шаровых засыпок на этапах прогрева и охлаждения. Предложена математическая модель нестационарного прогрева и охлаждения пористой среды, учитывающая теплоотвод в стенки конструкции.

**Ключевые слова:** нестационарный теплообмен, шаровая засыпка, подогреватель прерывного действия, математическая модель.

INVESTIGATION IN HEATING AND COOLING PROCESSES OF THE DISCONTINUOUS  
PEBBLE BED HEATER FOR AIRCRAFT ENGINES. *V.Yu.Aleksandrov, Cand.Techn.Sc;*  
*M.V.Siluyanova, Dr.Techn.Sc; M.S.Frantsuzov; A.P.Korolyova.*

The article describes a discontinuous pebble bed heater for high-speed testing of aircraft engines. Temperature distribution of pebble beds at warming up and cooling stages have been obtained. A mathematical model of unsteady warm-up and cooling for porous medium with heat cooling into the structure wall has been suggested.

**Keywords:** unsteady heat transfer, pebble bed, discontinuous heater, mathematical model.

УДК [533.6+519.6]: 62. -135

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CFD АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В РЕШЕТКАХ ПРОФИЛЕЙ ОСЕВЫХ ТУРБИН

*М.Ю.Левенталь* (АО «Уральский завод гражданской авиации», г. Санкт-Петербург); *Ю.Р.Миронов*, канд. техн. наук (АО «Компрессорный комплекс», г. Санкт-Петербург); *Б.А.Тихомиров*, докт. техн. наук (Государственный морской технический университет, г. Санкт-Петербург)

E-mail: levental.my@uwca.ru

Приведены результаты анализа десяти турбинных решеток профилей различной геометрии в широком диапазоне режимов течения с использованием шести моделей турбулентности. Проведена оценка среднеквадратичного отклонения расчетных потерь от экспериментальных.

**Ключевые слова:** осевая турбина, профиль лопатки, турбинная решетка, модель турбулентности, профильные потери.

USING THE CFD ANALYSIS FOR DETERMINATION OF ENERGY LOSSES IN AXIAL TURBINE CASCADES. *M.Yu.Levental*<sup>1</sup>; *Yu.R.Mironov*, *Cand.Techn.Sc*; *B.A.Tichomirov*, *Dr.Techn.Sc*.

Ten turbine cascades of various geometries were analyzed in a wide range of flow patterns using six turbulence models. The root-mean-square difference between predicted and experimental losses was estimated.

**Keywords:** axial turbine, blade section, turbine cascade, turbulence model, profile losses.

УДК 621.4

## МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА ДЛЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ГТД, РЕГЕНЕРИРУЮЩИХ ТЕПЛО

*М.В.Силуянова, докт. техн. наук (Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет))*

E-mail: dc2mati@yandex.ru

Приведены результаты экспериментальных исследований, позволяющие прогнозировать и определять оптимальные параметры пластинчатого теплообменного аппарата для различных схем газотурбинных двигателей, регенерирующих тепло.

**Ключевые слова:** малоразмерный газотурбинный двигатель, пластинчатый теплообменный аппарат, совершенствование конструкции, регенерация тепла, эффективность двигателя.

A METHOD FOR DESIGNING AND MANUFACTURING HEAT EXCHANGER FOR SMALL-SIZE HEAT EXCHANGING GAS TURBINE ENGINES. *M.V.Siluyanova, Dr.Techn.Sc.*

Experimental results making it possible to predict and determine the optimal parameters of a plate heat exchanger for different configurations of heat exchanging gas turbine engines are presented.

**Keywords:** small-size gas turbine engine, plate heat exchanger, structural improvement, heat recovery, engine efficiency.

УДК 620.18

## ВЛИЯНИЕ ВИП ОБРАБОТКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ДИФФУЗИОННЫХ ЗОН КОМПОЗИТА «МЕТАЛЛ – ПОКРЫТИЕ»

*Л.М.Петров*<sup>1</sup>, докт. техн. наук; *К.В.Григорович*<sup>2</sup>, чл.-корр. РАН;  
*Г.С.Спрыгин*<sup>2</sup>, канд. техн. наук; *С.Б.Иванчук*<sup>1</sup>, канд. техн. наук;  
*В.В.Зеленков*<sup>1</sup>, канд. техн. наук; *А.Н.Смирнова*<sup>1</sup>; *В.Д.Семёнов*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ОАО «Национальный институт авиационных технологий», info@niat.ru

<sup>2</sup> Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова  
Российской академии наук, grigorovichkv@gmail.com

Исследована зависимость диффузионных процессов от соотношения элементов газо-металлического плазменного потока и элементов подложки при формировании композитов с однослойными и многослойными покрытиями систем Al, Al-N. Показано, что взаимодействие плазменных потоков с обрабатываемой поверхностью при создании покрытий на основе Al способствует возникновению процессов прямой и обратной диффузии элементов покрытия и подложки, влияющих на формируемый уровень когезионной связи композита «металл-покрытие».

**Ключевые слова:** композит, плазменный поток, обрабатываемая поверхность, диффузионный процесс, Al, Al-N.

EFFECT OF VACUUM ION TREATMENT ON FORMATION OF DIFFUSED ZONES  
IN THE «METAL-COATING» COMPOSITE. *L.M.Petrov, Dr.Techn.Sc;*

*K.V.Grigorovich, Corresponding Member of RAS; G.S.Sprygin, Cand.Techn.Sc;*

*S.B.Ivanchuk, Cand.Techn.Sc; V.V.Zelenkov, Cand.Techn.Sc; A.N.Smirnova; V.D.Semyonov.*

Dependency of diffusion processes on the elements ratio of the gas metal plasma stream and the substrate under formation of composites with Al, Al-N single- and multi-layer coating systems was investigated. It was shown that the interaction of plasma streams with the processed surface, when creating the Al-based coatings, gave rise to the direct and reverse diffusion in the coating and substrate elements that affected formation level of cohesive bond of the «metal-coating» composite.

**Keywords:** composite, plasma stream, processed surface, diffusion process, Al, Al-N.

УДК 678-419.8:629.7.002.72

## ТЕПЛОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ УГЛЕПЛАСТИКОВЫХ ФЕРМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*О.С.Сироткин, чл.-корр. РАН (ОАО «Национальный институт авиационных технологий»);*

*В.С.Боголюбов, докт. техн. наук (ОНЦ «Композит» НИИАТ);*

*И.В.Малков, докт. техн. наук (Луганский национальный университет им. В. Даля)*

E-mail: bogsampe@gmail.com

Изучено влияние термоциклов на изменение геометрических параметров конструкций из углепластика. Проведены термоциклические испытания модельной фермы и дана оценка влияния тепловых нагрузок различной интенсивности и длительности на размеростабильность углепластиковых ферменных конструкций космических аппаратов. Получены зависимости КЛТР труб и угловых деформаций фермы от длительности термоциклирования.

**Ключевые слова:** термоциклы, температурные деформации, термостабилизация, ферменные конструкции.

THERMAL TESTS OF CARBON FIBER PLASTIC TRUSS CONSTRUCTIONS FOR SPACE VEHICLES. *O.S.Sirotkin, Corr.Member of RAS; V.S.Bogolyubov, Dr.Techn.Sc; I.V.Malkov, Dr.Techn.Sc.*

The influence of thermal cycles on change in the geometrical parameters of carbon fiber plastic structures was studied. Thermal cycle tests of the model truss were conducted, and the impact of different-intensity and different-duration thermal loads on dimensional stability of carbon fiber plastic truss constructions for space vehicles was estimated. Dependencies of linear thermal expansion coefficient of the tubes and truss shear strains on thermal cycling duration were obtained.

**Keywords:** thermal cycles, temperature deformation, thermal stabilization, truss constructions.

УДК 678.8

## ОСОБЕННОСТИ ОСВОЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ НОВЫХ ПКМ НА ПРИМЕРЕ ПРЕПРЕГА ВКУ-25

*Г.И.Шокин, канд. техн. наук; Д.Ю.Рябовол*  
(ОАО «Национальный институт авиационных технологий»)

E-mail: ryabovol.niat@gmail.com

Приведены результаты исследований технологических параметров препрега ВКУ-25 применительно к режиму формования габаритных изделий авиационной техники из углепластика.

**Ключевые слова:** препрег, углепластик, жизнеспособность, гелеобразование, режим формования, свойства.

DETAILS OF THE NEW PCM MANUFACTURING DEVELOPMENT BY EXAMPLE  
OF THE VKU-25 PREPREG. *G.I.Shokin, Cand.Tech.Sc; D.Yu.Ryabovol.*

The authors present research results in manufacturing parameters of the VKU-25 prepreg as applied to molding conditions of large products of aeronautical equipment made of carbon fiber reinforced plastics.

**Keywords:** prepreg, carbon fiber reinforced plastic, pot life, gelling, molding conditions, properties.

УДК 621.791

## ПРИМЕНЕНИЕ УСТАНОВКИ УСП-5000 ДЛЯ СВАРКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОРЕБРЕННЫХ ТИТАНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ

*В.В.Григорьев<sup>1</sup>; П.В.Бахматов<sup>2</sup>, канд. техн. наук;  
С.П.Мазур<sup>3</sup>, канд. техн. наук*

E-mail: mim@knastu.ru

<sup>1, 2</sup> *Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет;*

<sup>3</sup> *Комсомольский-на-Амуре авиационный завод имени Ю.А. Гагарина*

Рассматривается возможность сварки крупногабаритных панелей из титанового сплава VT20 на автоматической установке для аргонодуговой сварки УСП-5000.

**Ключевые слова:** УСП-5000, стыковой шов, сварное соединение, аргонодуговая сварка неплавящимся электродом.

APPLICATION OF THE USP-5000 UNIT FOR WELDING LARGE-SIZED RIBBED TITANIUM PANELS. *V.V.Grigoriev; P.V.Bahmatov, Cand.Techn.Sc; S.P.Mazur, Cand.Techn.Sc.*

The article considers a possibility of welding large-sized VT20 titanium alloy panels on the USP-5000 automatic argon-arc welding unit.

**Keywords:** USP-5000, butt weld, welded joint, argon-arc welding by non-consumable electrode.

КАЧЕСТВО, НАДЕЖНОСТЬ,  
РЕСУРС

УДК 629.735; 62-192

## ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ И ЭКВИВАЛЕНТНАЯ НАРАБОТКА ПЛАНЕРА МАНЕВРЕННОГО САМОЛЕТА

*Л.В.Агамиров*<sup>1</sup>, докт. техн. наук; *Н.Ю.Подживотов*<sup>2</sup>, канд. техн. наук;  
*В.П.Соколов*<sup>1</sup>, докт. техн. наук

<sup>1</sup> НИУ «Московский энергетический институт»;

<sup>2</sup> ФГУП «Всероссийский институт авиационных материалов»

E-mail: itno\_agamirov@mail.ru

Предложена методика оценки условной часовой повреждаемости различной нагруженности маневренного самолета.

**Ключевые слова:** эксплуатационная нагруженность планера, маневренный самолет, вертикальные перегрузки, условная часовая повреждаемость, коэффициент форсирования, метод «пиков», рассеяние вертикальной перегрузки, эквивалентная наработка, усталостное повреждение.

DAMAGE AND EQUIVALENT FLIGHT HOURS OF THE MANEUVERABLE AIRCRAFT  
AIRFRAME. *L.V.Agamirov, Dr.Techn.Sc; N.Yu.Podzhivotov, Cand.Techn.Sc;*  
*V.P.Sokolov, Dr.Techn.Sc.*

Evaluation procedure of conditional hourly damage for different loading of the maneuverable aircraft is suggested.

**Keywords:** airframe operating load, maneuverable aircraft, vertical load factors, conditional hourly damage, augmentation coefficient, peak method, scattering of vertical load factor, equivalent flight hours, fatigue damage.

УДК 629.7.085(075.8)

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ СТАРТОВОГО КОМПЛЕКСА НА РАННИХ ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Г.А.Блатиков, канд. техн. наук; А.В.Торпачев, канд. техн. наук  
(Московский авиационный институт (национальный  
исследовательский университет))*

E-mail: stk1996@mail.ru

Разработан программный комплекс автоматизированного проектирования, обеспечения и контроля качества стартовых комплексов и рассмотрены основные задачи, решаемые с его помощью.

**Ключевые слова:** обеспечение качества, информационные технологии, CALS технологии, стартовые комплексы.

QUALITY ASSURANCE OF THE LAUNCHING COMPLEX COMPONENTS AT EARLY DESIGN STAGES USING INFORMATION TECHNOLOGIES. *G.A.Blatikov, Cand.Tech.Sc.; A.V.Torpachev, Cand.Tech.Sc.*

Software system for the automated design, quality assurance and control for launching facilities was developed. Basic problems being solved by the system were considered.

**Keywords:** quality assurance, information technologies, CALS-technologies, launching facilities.

УДК 339.1

**КОНЦЕПЦИЯ ОПТИМИЗАЦИИ УЯЗВИМОСТИ  
ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ПОТЕНЦИАЛА РОССИЙСКОГО АВИАЦИОННО-  
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ  
ОТ ПОСТАВОЧНЫХ НЕБЛАГОПРИЯТСТВОВАНИЙ**

*О.Н.Дмитриев, докт. эконом. наук; С.В.Новиков, канд. эконом. наук;  
М.В.Силуянова, докт. техн. наук (Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет))*

E-mail: siluianovamv@mai.ru

Введено полиаспектное понятие уязвимости производственно-технологического потенциала применительно к современному авиационно-промышленному предприятию России. Показана целесообразность оптимизации соответствующих уязвимостей посредством реализации стратегических и тактических управленческих решений, в том числе на уровне самих предприятий.

**Ключевые слова:** авиационно-промышленное производство, внутрифирменное управление, производственно-технологический потенциал, уязвимость потенциала, смежники, поставки, система поддержки управленческих решений, оптимизация уязвимости.

A CONCEPT FOR OPTIMIZING VULNERABILITY OF PRODUCTION AND TECHNOLOGICAL POTENTIAL OF A RUSSIAN AIRCRAFT INDUSTRY ENTERPRISE AGAINST SUPPLY ADVERSITIES.  
*O.N.Dmitriev, Dr.Economic.Sc; S.V.Novikov, Cand.Economic.Sc; M.V.Siluyanov, Dr.Techn.Sc.*

The authors introduce a poly-aspect concept of vulnerability of production and technological potential in respect to a Russian modern aircraft industry enterprise. The expediency of optimization of the corresponding vulnerabilities by implementation of strategic and tactical decisions including those at the enterprise level is shown.

**Keywords:** aircraft production, intercompany management, production and technological potential, potential vulnerability, subcontractors, deliveries, management decision support system, vulnerability optimization.