

**СОДЕРЖАНИЕ ЖУРНАЛА  
«ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ»  
2017, ТОМ 15, №2**

**МАТЕМАТИКА**

УДК 519.233.22 + 519.233.5

*А. Ю. Мерзлякова*, кандидат экономических наук Удмуртский государственный университет (*A. Yu. Merzlyakova*, PhD in Economics, Udmurt State University)

*Е. Ю. Коршунова*, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*E. Yu. Korshunova*, Kalashnikov ISTU)

**Математическая модель первичного рынка жилья города Ижевска (Mathematical Model for Izhevsk Primary Housing Market)**

*В статье рассматривается проблема экономико-математического анализа состояния и перспектив формирования и развития регионального рынка жилья, состояние которого серьезно влияет в том числе на социально-экономическое положение в регионе. С помощью статистических методов исследования панельных данных построены модели спроса и предложения первичного рынка жилья Ижевска. Анализ ситуации на рынке г. Ижевска проводится в сравнении с рядом других городов Приволжского федерального округа. Выделены основные факторы, значимо влияющие на состояние и развитие рынка. Формирование модели происходило в несколько этапов путем последовательного уточнения и варьирования факторами. Достаточно подробно рассматриваются факторы спроса и предложения, являющиеся в данном случае одними из определяющих. Для построения модели применялся язык статистической обработки данных R и соответствующее программное обеспечение. Проведенный анализ включает тщательную проверку основных критериев оценки полученных моделей, что позволяет достаточно квалифицированно судить об адекватности полученных результатов.*

*The paper deals with the problem of the economic and mathematical analysis of the state and prospects for the formation and development of the regional housing market, the state of which seriously affects, among other things, the social and economic situation in the region. With the help of statistical methods for studying panel data, models for the supply and demand of the primary housing market in Izhevsk have been constructed. The analysis of the situation in the market of Izhevsk is conducted in comparison with a number of other cities of the Volga Federal District. The main factors that significantly influence the state and development of the market are identified. The formation of the model occurred in several stages by successive refinement and variation by factors. The factors of demand and supply, which are, in this case, one of the defining factors, are considered in sufficient detail. To construct the model, the statistical data processing language R and the corresponding software were used. The carried out analysis includes a thorough check of the main criteria for evaluating the obtained models, which allows us to judge adequately the correctness of the results obtained.*

**Ключевые слова:** рынок первичного жилья, факторы спроса и предложения, эконометрическое моделирование экономических процессов, анализ панельных данных.

**Keywords:** primary housing market, supply and demand factors, econometric modeling of economic processes, analysis of panel data.

С. 4–9

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.757(045)

*И. В. Абрамов*, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
(*I. V. Abramov*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU)

*А. И. Абрамов*, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
(*A. I. Abramov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU)

*Салама Башар*, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*Bashar Salama*, PhD student, Kalashnikov ISTU)

*А. В. Романов*, старший преподаватель, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*A. V. Romanov*, Senior Lecturer, Kalashnikov ISTU)

### **Автоматизированный регулятор избыточного объема масла для гидропрессовой сборки (An automated Regulator for the Excess Amount of Oil for the Hydraulic Press Assembly)**

*В данной статье представлен автоматизированный регулятор для поддержания давления масла во время запрессовки деталей гидропрессовым методом с целью повышения стабильности гидропрессовой сборки и качества собираемых соединений с гарантированным натягом. Регулятор разработан на основе гидроаккумулятора и мехатронного силового механизма с поступательным движением опоры в вертикальном направлении. Силовой механизм обеспечивает перемещение плунжера гидроаккумулятора, что позволяет регулировать объем рабочей полости гидроаккумулятора, в которую поступает масло, вытекающее из зоны сопряжения деталей во время запрессовки, и, соответственно, регулировать давление масла в системе. Далее в данной статье приведены конструктивная, структурная и кинематическая схемы разработанного регулятора. Датчик силы выполняет роль обратной связи и обеспечивает автоматическое управление ходом силового механизма и последовательно соединенного с ним плунжера гидроаккумулятора. Для регулирования скорости вращения двигателя используется преобразователь частоты, который настроен на работу в режиме скалярного управления и инерционно-останова для обеспечения плавного разгона и быстрого торможения двигателя гидростанции. Результаты тестирования регулятора на способность поддержания давления в заданном диапазоне подтверждают его работоспособность и соответствие требованиям, предъявляемым гидропрессовой сборкой соединений с натягом.*

*This paper presents an automated regulator for maintaining oil pressure during press-fitting of the parts assembles using the hydraulic press method to improve the stability of the hydraulic press assembly process and the quality of the assembled joints with guaranteed interference fit. The regulator is based on a hydraulic accumulator and a power mechatronic mechanism with a forward movement of the support in the vertical direction. The power mechanism ensures the displacement of the plunger of the accumulator, which allows regulating the working volume of the accumulator cavity, which receives the oil resulting from coupling zone parts during press-fitting process and thus regulate the oil pressure in the system. Further in this paper the design, structure and kinematic schemes of the developed regulator are presented. The force sensor serves as a feedback and provides automatic control over the stroke of the power mechanism and the connected in series hydraulic accumulator plunger. To regulate the speed of the motor, a frequency converter is used which is set to operate in the scalar and inertial stop mode to ensure smooth acceleration and rapid braking of the hydraulic station engine. The testing results of the regulator for the ability to maintain pressure in a given range confirm its performance and compliance with the requirements imposed by the hydraulic press assembly of the interference fits.*

**Ключевые слова:** гидропрессовая сборка, регулятор объема масла, гидроаккумулятор, поддержание давления масла, силовой мехатронный механизм.

**Keywords:** hydraulic press assembly, oil volume regulator, hydraulic accumulator, oil pressure maintenance, power mechatronic mechanism

УДК 621.833

Д. Т. Бабичев, доктор технических наук, профессор Тюменский индустриальный университет (D. T. Babichev, DSc in Engineering, Professor, Tyumen Industrial University)

### **Концепция развития метода М. Л. Новикова синтеза сопряженных зацеплений с первоначально точечным касанием поверхностей\* (Concept of Development of Novikov Method for Synthesis of Conjugate Gearing with Initially Point Contact of Surfaces)**

*Важный начальный этап проектирования передач – выбор способа образования сопряженного зацепления. Есть две группы таких способов: классические и изначально оптимизирующие. При использовании оптимизирующих способов синтез начинают с выбора вида и положения мгновенных площадок контакта зубьев, при которых передаваемое окружное усилие будет максимальным. Таковым является метод М. Л. Новикова (1956). Но в этом методе отсутствуют методики синтеза оптимальных контактных площадок и линий зацепления. Для доработки метода разработана новая концепция синтеза и проектирования передач. Представлен план работ по реализации этой концепции, включающий 5 этапов. Изложено содержание работ первого этапа – создание матмоделей и программ для исследования пространства зацепления. Описаны: цель; системы координат; параметры линии зацепления и мгновенной площадки контакта; качественные показатели. Приведены законы механики, научные знания и основные расчетные уравнения, используемые на первом этапе работ. Названы основные задачи второго этапа – выявление областей благоприятных, неблагоприятных и недопустимых значений качественных показателей; разработка алгоритмов выбора оптимальных линий зацепления и контактных линий и др. Дана оценка степени сложности этого этапа.*

*The most important stage of gear design is the choice of method for generation of conjugate gearing. There are two possible groups there: classical and initially optimizing. When applying the initially optimizing method, synthesis is started from the choice of the type and arrangement of instant tooth contact areas for which the transmitted torque will be maximum. One of such methods was proposed by M. L. Novikov in 1956. But the methods for synthesis of optimal contact areas and meshing lines are absent there. In order to revise this method, a new concept of gear synthesis and design is stated. The plan on implementation of this concept, consisting of 5 steps is proposed. The content of the first step is presented, that is, development of mathematical models and programs for investigation of the meshing space. The following features are described: the purpose, coordinate systems, parameters of the meshing line and instant contact area, and qualitative parameters. Laws of mechanics, scientific information and basic analytical equations used at the first step are stated. The main problems of the second step are established: revealing the areas of favorable, unfavorable and unallowable values of qualitative parameters, development of algorithms for the choice of optimal meshing and contact lines, etc. The level of complexity for this step is assessed.*

**Ключевые слова:** проектирование передач, способы образования сопряженных зацеплений.

**Keywords:** theory of gearing, gear design, tooth contact synthesis.

C. 14–18

УДК 621.7.07

М. А. Волков, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (M. A. Volkov, Post-graduate, Kalashnikov ISTU)

В. Г. Осетров, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (V. G. Osetrov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU)

### **Классификация и применимость технологических оправок (Classification and Applicability of Technological Mandrels)**

*В данной статье рассмотрен вопрос разнообразия технологических оправок, применяемых на операциях механической обработки в цехах промышленных предприятий. Для условий современного производства была представлена классификация технологических оправок по их технологическим признакам, которая раскрывает тип оправок в зависимости от вида*

установочной поверхности, вида базовой поверхности и типа посадки обрабатываемой детали с установочной поверхностью оправки. Далее в статье приведена логическая таблица выбора оправок в зависимости от параметров применимости: вид обработки, точность базового отверстия обрабатываемой детали, соотношение длины к диаметру, радиальное и торцевое биение заготовки и вид применяемой оправки. Затем представлен подход создания информационно-поисковой базы данных технологических оправок на основе применения булевых функций. Использование такой базы данных на промышленных предприятиях позволит подбирать тип необходимой технологической оправки на основе синтеза производственных параметров. Так, в статье представлены булевы функции шлицевой оправки с жидким наполнителем и переналаживаемой оправки с полиуретаном, используемые на операции токарной обработки. В заключение представлены булевы функции основных конструкций технологических оправок, выведенные на основе логической таблицы.

*This paper deals with the use of technological solutions in machine building in the shops of industrial enterprises. For the conditions of modern production, a classification of technological mandrels was developed according to their technological features, which reveals the type of mandrels, depending on the type of the mounting surface, the type of the basic surface and the type of the machined part fitting on the mounting surface of the mandrel. Further in the paper the information on the use options is given: the type of processing, data processing, the ratio of the length to the diameter, the radial and end deflection of the workpiece and the type of application of the mandrel. The solution of information retrieval databases of technological mandrels is presented on the basis of application of Boolean functions. The use of such databases for enterprises allows us to select the type of the required technological mandrel based on the synthesis of production parameters. Thus, the paper presents Boolean functions of a slotted mandrel with a liquid filler and a re-adjustable mandrels with polyurethane used in a turning operation. In conclusion, Boolean functions of the basic designs of technological mandrels, derived on the basis of a logical table, are presented.*

**Ключевые слова:** технологическая оправка, классификация, управляющие булевы функции, логическая таблица, применимость.

**Keywords:** technological mandrel, classification, control Boolean function, logic table, applicability.  
С. 19–22

УДК 539.431: 621.743.43

*Д. С. Добровольский*, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*D. S. Dobrovolsky*, Master's Degree Student, Kalashnikov Izhevsk state technical university)

### **Критерии трещиностойкости нелинейной механики разрушения элементов конструкций (Criteria of Crack Resistance of Nonlinear Fracture Mechanics of Structural Elements)**

*Практика эксплуатации ответственных конструкций в экстремальных условиях показывает, что их несущие элементы разрушаются в результате образования и постепенного развития магистральных трещин. Такие разрушения происходят при номинальных напряжениях ниже предела текучести материала, поэтому не могут в полной мере оцениваться только на основе классических теорий прочности. В связи с этим для оценки трещиностойкости материалов и элементов конструкций предложен ряд критериев: силовые (коэффициент интенсивности напряжений Дж. Ирвина; коэффициент сцепления Г. И. Беренблатта); деформационные (размер пластической области на продолжении трещины Г. Нейбера; раскрытие берегов трещины М. Я. Леонова и В. В. Панасюка; Д. Дагдейла), которые получены в предположении линейной механики деформирования. Энергетические критерии (плотность энергии натяжения берегов трещины А. Гриффитса; независимые от контура упругопластического деформирования интегралы Г. П. Черепанова и Дж. Райса) трудно-реализуемы, поэтому не получили широкого практического использования. В связи с этим в данной работе в результате развития ранее полученных автором решений для расчета местных напряжений, упругопластических деформаций и удельных энергий вблизи вершины трещины предложены энергетические (коэффициенты интенсивности энергии формы) и*

силовые (коэффициенты интенсивности девиаторных напряжений) критерии разрушения нелинейной механики деформирования для трещин нормального отрыва и несимметричного сдвига. В предположении местного упругого деформирования результаты работы согласуются с указанными выше энергетическими критериями. При местном упругопластическом деформировании получен новый физически обоснованный результат. Достоверность и обоснованность предлагаемых критериев подтверждается использованием наиболее экспериментально обоснованного физического критерия прочности – удельной энергии изменения формы с учетом располагаемой пластичности материала и энергетического состояния при предельном пластическом деформировании. Результаты работы использованы для экспериментальной оценки трещиностойкости вала при изгибе с вращением.

*The practice of operating critical structures under extreme conditions shows that their bearing elements are destroyed as a result of the formation and gradual development of main cracks. Such failure occurs at nominal stresses below the yield strength of the material, and therefore can not be fully estimated only on the basis of classical strength theories. In this regard, to assess the crack resistance of materials and structural elements, a number of criteria are proposed: power (the stress intensity factor of G. Irwin, the cohesion coefficient of G. I. Berenblatt); deformation (the size of the plastic region on the extension of crack of G. Neuber, the opening of the shores of the fracture by M. Ya. Leonov and V. V. Panasyuk, D. Dugdale), which are obtained under the assumption of linear deformation mechanics. The energy criteria (the energy density of the tension of the shores of the A. Griffith crack, the integrals of G. P. Cherepanov and J. Rice, independent of the contour of elastoplastic deformation) are difficult to realize, and therefore have not received wide practical use. In this connection, as a result of the development of solutions previously obtained by the author for calculating local stresses, elastoplastic deformations and specific energies near the crack tip, energy (energy-form-factor) and strength (deviator stress intensity factors) criteria for fracture of nonlinear deformation mechanics for cracks of normal detachment and asymmetric shear. Under the assumption of local elastic deformation, the results of the work are consistent with the above energy criteria. A new physically grounded result was obtained with local elastoplastic deformation. The validity of the proposed criteria is confirmed by the use of the most experimentally grounded physical strength criterion – the specific energy of the change in shape, taking into account the material's plasticity and the energy state at the extreme plastic deformation. The results of this work are used for an experimental evaluation of the fracture toughness of a shaft during bending with rotation.*

**Ключевые слова:** критические коэффициенты интенсивности энергии формы; критические коэффициенты интенсивности девиаторных напряжений.

**Keywords:** critical factors of intensity of energy change forms; critical factors of intensity of the deviatoric stresses.

C. 23–26

*A. С. Ильин, аспирант, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (A. S. Ilyin, Post-graduate, Tomsk National Research Polytechnic University)*

### **Оптимизация технологии изготовления основных элементов планетарно-волновой передачи с зацеплением промежуточных тел (Optimization of Production Technology for Basic Elements of Planetary-Wave Gears with Intermediate Rollers)**

*В статье предложены варианты оптимизации технологии мелкосерийного производства основных элементов планетарно-волновой передачи с зацеплением промежуточных тел: генератора волн; промежуточного тела; сепаратора; профильного колеса. Актуальность работы обоснована непрерывно ужесточающимися требованиями к минимизации производственных издержек с учетом совершенствования металлообрабатывающего оборудования и технологий. Целью оптимизации технологии изготовления основных элементов передачи является снижение производственных издержек и, как следствие, повышение конкурентоспособности изделий на основе планетарно-волновой передачи с зацеплением промежуточных тел. Оптимизация технологического процесса производства основных элементов пере-*

дачи рассмотрена в синтезе со следующими факторами: серийностью производства; производственными издержками; конструктивными особенностями изделий; условиями эксплуатации; требованиями к точностям формы и расположения поверхностей элементов; свойствами материалов. В части оптимизации технологии изготовления эквидистанту образующей генератора волн предложено получать на токарной операции с использованием специальной технологической оснастки. К промежуточному телу предъявлены основные требования, и с экономической точки зрения данный элемент передачи рекомендовано приобретать как массовый продукт производства подшипниковой индустрии. Для сепаратора рассмотрены электроэрозионная и фрезерная операции получения окон и даны рекомендации по выбору соответствующей технологии обработки в зависимости от назначения изделия. К профильному колесу предъявлены основные требования и рекомендованы материалы, применение которых позволяет сократить число технологических операций и переходов при обработке профиля.

Руководствуясь предложенными рекомендациями, можно существенно снизить производственные издержки, повысив конкурентоспособность изделий на основе планетарно-волновой передачи с зацеплением промежуточных тел.

*The paper highlights the technology optimization of basic elements small-series production of planetary-wave gears with intermediate rollers: wave generator; intermediate rollers; a separator and a side wheel. The relevance of the paper is justified by continuously growing requirements to minimize the production costs concerning the improvement of metalworking equipment and technologies. Optimization of gear production technology is targeted on production cost reduction as well as improving its competitiveness on the basis of planetary-wave gears with intermediate rollers. Basic gear elements production technology optimization is considered together with the following factors: large-scale production; production costs; design features of products; form and elements surface position accuracy requirements; properties of materials. To optimize the production technology, the equidistant of wave generator is suggested to be obtained by turning operation with the application of special technological facilities. The intermediate roller is presented with the basic requirements and in the economic aspect it is suggested to be purchased as a mass product of the bearing industry. For the separator, the electro-erosive and milling operations for obtaining windows are considered and recommendations on appropriate processing technology are given, depending on the purpose of the product. The basic requirements to the side wheel production are given as well as materials, which allow reducing the number of technological operations and transitions during profile processing, are recommended. Following the proposed recommendations can significantly reduce production costs, improve the competitiveness of products on the basis of planetary-wave gear train with intermediate rollers.*

**Ключевые слова:** планетарно-волновая передача; генератор волн; промежуточное тело; сепаратор; профильное колесо; технология производства.

**Keywords:** planetary-wave gear; wave generator; intermediate tools; separator; side wheel; production technology.

C. 27–30

УДК 621.822.73

Р. Ю. Кондратов, АО «Тайфун» (R. Yu. Kondratov, Design engineer, «Typhoon, JSC», Kaluga)

### **Некоторые уточнения по расчету статического момента редуктора при отрицательных температурах окружающей среды (Some Specifications on Calculation of the Static Moment of a Gearbox in Case of Negative Ambient Temperatures)**

В статье приведены особенности расчета статического момента (момента страгивания) рядного зубчатого редуктора с радиальными шариковыми подшипниками при его работе как в нормальных условиях (плюс 20 °С), так и при отрицательных температурах (минус 40 °С). Выполнен обзор технической литературы по данной тематике, сделан вывод о необходимости уточнения этой области знания. В качестве основных факторов в расчете выделены моменты трения между зубьями передач и потери трения в опорах, которые в числе прочих факторов будут зависимы и от температуры окружающей среды. Для потерь

между зубьями приведены теоретические выкладки, на основании которых принято допущение для дальнейшего расчета. Поставлен эксперимент по определению момента страгивания радиальных шариковых подшипников (определенных типоразмеров), получена эмпирическая зависимость. Предпринята попытка получения эмпирических зависимостей для корректировки формул «классического» расчета статического момента редуктора, функционирующего как в нормальных условиях, так и в области отрицательных температур окружающей среды. Проведено сравнение полученных расчетных значений и данных эксперимента на рядных редукторах, применяемых в изделиях предприятия АО «Тайфун».

*Features of calculation of the static moment (the starting moment) of a line gearbox with radial ball bearings by its operation in the conditions of both normal (plus 20 °C) and negative (minus 40 °C) ambient temperatures are given in the paper. The extensive review of technical literature on this subject is executed, the conclusion is drawn on the need for specification of this area of knowledge. The simple experiment by determination of the moment of starting for radial ball bearings (certain standard sizes) is delivered, the empirical dependence is received. An attempt of obtaining empirical dependences for adjustment of formulas of "classical" calculation of the static moment of the gearbox functioning both in reference conditions and in the field of the negative ambient temperatures is made. Comparing of the obtained design values and data of an experiment on the line reducers applied in products of the enterprise is carried out.*

**Ключевые слова:** статический момент, редуктор, зубчатая пара, подшипник качения, отрицательные температуры, потери мощности.

**Keywords:** static moment, gearbox, tooth pair, rolling bearing, negative temperatures, losses of power

С. 31–38

УДК 621.715.2:621.774.32

*М. С. Коновалов*, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*M. S. Konovalov*, Master's Degree Student, Kalashnikov ISTU)

*В. П. Шенюгин*, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*V. P. Shenogin*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU)

**Исследование стойкости оправки из сплава на основе Ni<sub>3</sub>Al при прошивке прутков стали марки 08X18H10T-Ш\* (Investigation of the Durability of the Ni<sub>3</sub>Al-Based Alloy Piercing Plug when Piercing 08X18H10T-Ш Steel Bars.)**

*В результате проделанной работы была изготовлена прошивная оправка малого диаметра (с диаметром калибрующей части 30 мм) из сплава на основе Ni<sub>3</sub>Al.*

*Проведены натурные испытания прошивной оправки, изготовленной из сплава на основе Ni<sub>3</sub>Al при прошивке прутков стали марки 08X18H10T-Ш на стане поперечно-винтовой прокатки ПВП-120. После прошивки прутков стали марки 08X18H10T-Ш в количестве 15 штук общей массой 675 кг и размером каждого прутка  $\varnothing 85^{\pm 1} \times 1000^{\pm 5}$  мм в передельные трубы размером  $\varnothing 83^{\pm 0,5} \times \varnothing 38^{\pm 0,5} \times L$  мм на оправке была обнаружена трещина, исключающая возможность дальнейшей эксплуатации данной оправки.*

*Визуально-измерительный и ультразвуковой контроль полученных при проведении экспериментальных прошивок труб из стали марки 08X18H10T-Ш и анализ макроструктуры утяжин от них показали отсутствие трещин и иных дефектов прокатки.*

*Рассмотрен вопрос о стабильности микроструктуры сплава на основе Ni<sub>3</sub>Al при работе в условиях термомеханического нагружения (при прошивке прутков). При сравнении фотографий шлифов металла оправки до использования в работе и после установлено, что микроструктура в обоих случаях состоит из первичных кристаллов легированного интерметаллида Ni<sub>3</sub>Al с закристаллизованной вокруг них эвтектикой, состоящей из твердого раствора на основе никеля и легированного интерметаллида Ni<sub>3</sub>Al. Таким образом, было установлено, что структура сплава, использованного в качестве материала прошивной оправки, ста-*

бильна при работе в условиях термомеханического нагружения. Причиной прекращения эксплуатации данной оправки явилось появление трещины, исключающей возможность дальнейшей эксплуатации данной оправки.

The piercing plug with a diameter of the calibrated part of 30 mm for the investigation was prepared from  $Ni_3Al$ -based cast alloy.

The  $Ni_3Al$ -based alloy piercing plug was tested when piercing 08X18H10T-III steel bars by means of the cross-screw piercing mill (CSP-120). The crack was discovered after manufacturing of 15 rough pipes with dimensions of  $\varnothing 83^{\pm 0.5} \times \varnothing 38^{\pm 0.5} \times L$  mm and a total weight of 675 kg from 08X18H10T-III steel bars with dimensions of  $\varnothing 85^{\pm 1} \times 1000^{\pm 5}$  mm. It had excluded the possibility of further exploitation of this piercing plug.

The cracks and other rolling defects were not detected as a result of the visual measurement control and the ultrasonic inspection of the produced 08X18H10T-III steel rough pipes and the analysis of the macrostructure of the samples from these rough pipes.

The question of the stability of the  $Ni_3Al$ -based alloy microstructure when the bars are pierced was considered.

Comparison the photographs of the metal sections of the piercing plug before use with the photographs of the metal sections of the piercing plug after use showed that the microstructures consisted of the primary doped compound  $Ni_3Al$  crystals and the crystallized eutectic around these primary doped compound  $Ni_3Al$  crystals. The eutectic consisted of the doped intermetallic compound  $Ni_3Al$  and the Ni-based solid solution. Thus, it is established that the structure of the alloy used as the material of the piercing mandrel is stable when operating under conditions of thermo-mechanical loading.

**Ключевые слова:** прошивная оправка,  $Ni_3Al$ , микроструктура, поперечно-винтовая прошивка, 08X18H10T-III.

**Keywords:** piercing plug,  $Ni_3Al$ , microstructure, cross-screw piercing, 08X18H10T-III.

C. 39–42

УДК 621.833.061

О. В. Малина, доктор технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (O. V. Malina, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU)

**Обзор методов синтеза модели класса спироидных редукторов для интеллектуальных САПР. Часть 1. Графовый метод (Review of Methods for Synthesis of the Model of Class of Spiroid Gearboxes for Intelligent CAD Systems. Part 1. Graph Method)**

Создание интеллектуальных систем автоматизации конструирования требует решения задачи накопления и обобщения конструкторского опыта. Разработка модели конструкторской деятельности сталкивается с отсутствием сквозного алгоритма, позволяющего синтезировать конструкцию, имея в качестве исходных данных потребительские качества изделия. Именно этим объясняется функциональный набор современных САПР, которые способны автоматизировать процессы выполнения графических работ, строить трехмерные модели, выполнять отдельные инженерные расчеты, готовить конструкторскую и технологическую документацию, однако не позволяют выполнить структурный синтез будущего изделия. Решающим фактором в реализации процесса структурного синтеза становятся опыт конструктора и его интуиция. Автор статьи, разрабатывая методологию автоматизации процесса структурного синтеза, ставит вопрос о накоплении «конструкторского опыта» для его дальнейшего использования в качестве информационного обеспечения системы автоматизированного конструирования, способной максимально автоматизировать процесс структурного синтеза будущей конструкции. Обобщение опыта рассматривается автором как формирование модели класса объектов, позволяющей зафиксировать максимальное количество особенностей конструктивных исполнений изделия и его компонентов.



Еще одна задача, которая должна быть решена при создании модели класса объектов, – это обеспечение возможности ее автоматизированной реализации. В качестве модели класса объектов автор предлагает использовать классификатор, представляющий собой набор классификационных признаков (вопросов) и множество значений признаков (альтернативных ответов на каждый из поставленных вопросов). В качестве объекта конструирования рассмотрен спиройдный редуктор, представляющий собой объект средней степени сложности. Графовое представление конструкции объекта, позволяющее продемонстрировать все конструктивные единицы, обладающие определенными, интересующими конструктора свойствами, является наглядным и удобным для математического, а следовательно, алгоритмического описания.

В статье обоснована необходимость и возможность создания классификатора в качестве обобщенной модели класса спиройдных редукторов, построенной графовым методом, состоящим в обобщении графовых моделей отдельных конструктивных решений. Автором рассмотрен графовый метод Половинкина, обоснована необходимость его модификации, предложен графовый метод, обеспечивающий высокую степень автоматизации процесса обобщения конструкторского опыта и создания классификатора.

*Development of intelligent systems of computer-aided design requires establishment of the problem for accumulation and generalization of the designer's experience. Development of the model of the designer's activity meets the absence of the end-to-end algorithm, allowing for synthesis of a layout with the consumer qualities of the product as the initial data. This explains the functional set of advanced CAD systems which are capable of automating the processes of graphical works, developing 3D models, performing individual engineering analysis, preparing the design and manufacturing documentation, however, they do not allow for performing the structural synthesis of the future product. The experience of the designing engineer and his intuition become here the decisive factors in implementing the process of the structural synthesis. By developing the methodology of automation of the process of structural synthesis the author of the paper states the question of accumulating the "designer's experience" for its further application as informational support of the system of computer-aided design capable for maximally automate the process of structural synthesis of future layouts. Generalization of the experience is considered by the author as generation of the model of the class of objects allowing for fixation of maximum number of features of layout performances of the product and its components. Another problem to be solved when developing the model of the class of objects is to provide the possibility of its computer-aided implementation. The author proposes to apply the classifier as the model of the class of objects, the classifier representing the set of classification features (questions) and the set of values of features (alternative answers on each of the stated question). The object of design was taken to be a spiroid gearbox representing the object of the mean level of complexity. Graph representation of the object layout allowing for demonstration of all the layout units and possessing definite properties interesting for the designer is demonstrative and convenient for mathematical and, therefore, algorithmic description. The paper substantiates the necessity and possibility of developing the classifier as the generalized model of the class of spiroid gearboxes plotted by the graph method implying the generalization of graph models of individual designing solutions. The author considered the graph method by Polovinkin, grounded the necessity of its modification, proposed the graph method providing the high degree of automation of the process of generalizing the designer's experience and development of the classifier.*

**Ключевые слова:** сложный объект, этапы построения графовой модели, модель описания конструкции редуктора, структурообразующие модули, характеристики, графовый метод построения обобщенной модели.

**Keywords:** Complex objects, steps of developing the graph model, model of gearbox layout description, structure generating modules, characteristics, graph method for developing the generalized model.

УДК 624.04

Ф. И. Плеханов, доктор технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*F. I. Plekhanov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU*)

Г. Н. Первушин, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*G. N. Pervushin, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU*)

**Исследование напряженно-деформированного состояния плиты в месте ее заделки в основание (Investigation of the Stress-Strain State of the Plate in the Place of Its Fixing on the Basis)**

*В механических системах, строительных конструкциях и сооружениях часто встречаются соединения деталей в виде плиты или толстой пластины, жестко заделанной в основание. Податливость сопрягаемых элементов конструкции или сооружения приводит к неравномерному распределению погонной нагрузки в зоне их контакта, что оказывает существенное влияние на показатели прочности и жесткости отдельных деталей и сооружения в целом. В связи с этим важной является задача определения закона изменения погонной нагрузки и напряжений в месте заделки плиты в основание.*

*В приведенном в статье методе определения указанных силовых факторов плита представлена в виде балки на упругом основании, для которой справедливо уравнение Тимошенко – уравнение связи силовых факторов и деформаций изгиба и сдвига. Дифференциальное уравнение напряженно-деформированного состояния решалось аналитически методом Эйлера с учетом того, что балка испытывает стесненный изгиб и закон изменения погонной нагрузки носит характер аperiодических затухающих колебаний.*

*Полученные аналитические зависимости и построенные на их базе графики свидетельствуют, что на границе раздела пластины и жесткого основания имеет место большая концентрация погонной нагрузки, которая превышает среднее ее значение в десятки раз. Результаты исследования позволяют с достаточно высокой степенью точности осуществить расчет плиты или толстой пластины, заделанной в основание, на прочность и жесткость, что важно при проектировании узлов механизмов и строительных конструкций.*

*In mechanical systems and building structures, the joint of parts as a sheet or a thick plate rigidly fixed on the basis are rather common. Compliance of contacting elements of the structure leads to non-uniform distribution of the unit load in their contact zone, thus essentially affecting the strength and rigidity parameters of individual parts and structures as a whole. In this connection, the problem of determining the law of variation of the unit load and stresses in the place of the plate fixing on the basis becomes relevant.*

*This paper considers the method for determining the pointed power factors, implying the representation of the plate as the beam on the elastic basis, for which the Timoshenko equation is valid, that is, the equation of relation of power factors and bending and shearing strains. The differential equation of the stress-strain state is solved analytically by the Euler method, accounting for the fact that the beam is subjected to constraint bending and the law of variation of the unit load is of aperiодic attenuating oscillations.*

*The obtained analytical relations and plotted on their basis diagrams indicate that the unit load is highly concentrated at the boundary of the plate and the rigid basis, the value of this load exceeding its average value dozens of times. Investigation results allow for performing the strength and rigidity calculation of the sheet or the thick plate fixed on the basis with a high degree of accuracy, which is urgent when designing the units of mechanisms and building structures.*

**Ключевые слова:** плита, упругое основание, погонная нагрузка.

**Keywords:** plate, elastic basis, unit load

С. 53–54

УДК 623.4.01

С. Г. Селетков, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
(S. G. Seletkov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU)

### **Процедурная модель проектирования технических систем (The Procedural Model for Designing Technical Systems)**

*Необходимость повысить эффективность проектирования технических достижений предполагает выработку новых приемов и методов, позволяющих более рационально организовать мышление человека. Переход к новым формам проектирования становится особенно актуальным в условиях постоянного усложнения технических комплексов, необходимостью увеличения периода эксплуатации образцов вооружения до наступления их морального износа, а также сокращению сроков проектирования. Повышение производительности труда при проектировании ствольного вооружения предполагает систематизацию способов повышения его эффективности, разработку специализированных методов проектирования, включая эвристические и программные приемы анализа и синтеза, фондов технических решений и физических эффектов, создания отраслевой процедурной модели поиска технических решений с оценкой эффективности их применения. В статье предлагается логическая схема проектирования, которая может быть представлена процедурной моделью, реализующей системный подход к проектированию, и является обобщением ряда известных работ. Процедурная модель дает наглядное представление об основных процедурах и операциях проектирования, методах их проведения, указывает на необходимые источники информации.*

*The necessity to increase the design efficiency for technical achievements implies development of new ways and methods that allow for organizing the human thinking more reasonably. Transition to new types of design becomes relevant within constantly complicating technical complexes, necessity to increase the operation period of armory up to their moral wear and reduce the design time. Increase in labor intensity when designing barrel arms implies systematization of methods for increasing its efficiency, development of specific design methods including heuristic and program approaches for analysis and synthesis, funds of technical solutions and physical effects, creation of industrial procedural model for the search of technical solutions with assessment of their application efficiency. In the paper the author proposes a logical design scheme, which can be represented by a procedural model implementing a system approach to design and generalizing a number of known works. The procedural model provides a visual representation of the main procedures and operations of design, methods of conducting them, and it points to the necessary sources of information.*

**Ключевые слова:** проектирование, технические системы, ствольное вооружение, процедурная модель.

**Keywords:** design, technical systems, barrel arms, procedural model

С. 55–59

УДК 621.833:001.4

В. Е. Старжинский, доктор технических наук, профессор, Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого Национальной академии наук Беларуси, Гомель, Беларусь  
(V. E. Starzhinsky, DSc in Engineering, Professor, V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus)

В. И. Гольдфарб, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
(V. I. Goldfarb, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

С. В. Шилько, кандидат технических наук, доцент, Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого Национальной академии наук Беларуси, Гомель, Беларусь  
(S. V. Shilko, PhD in Engineering, Associate Professor, V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus)

Е. В. Шалобаев, кандидат технических наук, профессор, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО) (E. V. Shalobaev, PhD in Engineering, Professor, Saint-Petersburg National University of Informative Technology, Mechanics and Optics, Saint-Petersburg, Russia)

*Е. И. Тескер*, доктор технических наук, профессор, Волгоградский технический университет (E. I. Tesker, DSc in Engineering, Professor, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia)

**Развитие терминологии в области зубчатых передач и трансмиссий. Часть 2. Составление словаря-справочника по зубчатым передачам (Development of Terminology in Gearing and Power Transmissions. Part 2. Compilation of Reference-Dictionary Book on Gearing)**

*В первой статье, опубликованной в журнале «Интеллектуальные системы в производстве»\*, были рассмотрены этапы становления и развития терминологии по зубчатым передачам, в том числе в рамках деятельности Постоянной комиссии IFToMM «Стандартизация терминологии по ТММ». В данной статье рассматриваются вопросы подготовки материалов для составления словаря-справочника по зубчатым передачам и содержание основных разделов справочника. Показаны этапы развития идеи о создании издания справочного характера по терминологии зубчатых передач, начиная с доклада на Техническом комитете ISO TC (1998 г., г. Тун, Швейцария) до выхода в свет в 2011 г. пятого издания словаря-справочника [1]. Подготовка материалов для первого издания [2] была продолжена в 2000 году публикацией сообщения [3] о планируемом издании в сборнике докладов научного семинара 19-го рабочего заседания Постоянной комиссии IFToMM «Стандартизация терминологии по ТММ», в котором был проведен анализ состояния терминологии в области зубчатых передач. В сферу анализа были вовлечены стандарты: Международные ISO (4 источника), IEC (1); IFToMM (1), американские ANSI-AGMA (2), британские BS (2), немецкие DIN (4), швейцарские VSM (1), французские NF (5), российские ГОСТ (5) и болгарские BDS (2). По результатам анализа намечен план словаря и предполагаемый объем работы по привлечению и структурированию информационных материалов. Показана взаимосвязь подготовки материалов для словаря и главы 12 «Зубчатые передачи терминологии IFToMM» [4], представлено содержание словаря в целом и отдельных его основных разделов. В частности, отмечена специфика разделов «Спиroidные передачи» (введение терминов на немецком и французском языках); «Точность и контроль (компиляция терминов и обозначений из разных источников с дополнением терминами, идентифицированными авторами); «Расчеты на прочность и заедание» (выполненная авторами идентификация русскоязычной терминологии по расчетам на заедание с англо-, франко- и немецкоязычной терминологией); «Классификация зубчатых зацеплений, колес и передач» (дифференцированная по разным признакам – взаимному расположению осей, форме исходных поверхностей сопряженных звеньев и др.).*

*In the first paper of this series, published in No 1(15), 2017 of “Intellectual Systems in Production” Journal, the stages of becoming and development of terminology on gearing have been considered in the frame of IFToMM Permanent Commission “Standardization of Terminology on TMM” activity. In present publication the procedure of materials preparation for compilation of Reference-Dictionary Book on gearing and contents of its basic sections are considered and stages of development of idea about creation of reference source issue on gearing terminology, starting from the report the ISO TC meeting (1998, Thune, Switzerland) till publication in 2011 of the fifth issue of Reference-Dictionary Book (further Dictionary) [1], are shown. Preparation of the first issue [2] were continued in 2000 by publication of message [3] concerning planned issue in the proceedings of scientific seminar of IFToMM PCA 19<sup>th</sup> Working Meeting “Standardization Terminology on TMM”, where the analysis of terminology on gearing has been carried out.*

*The following normative sources have been used: International standards ISO (4 sources), IEC (1); IFToMM (1); American ANSI-AGMA (2); British BS (2); German DIN (4); Switzerland VSM (1); French NF (5); Russian GOST (5) and Bulgarian BDS (2). According to results of analysis the draft of the Dictionary and prospective volume of work on revelation of informative, normative and reference sources has been traced. Interconnection of preparation of the materials for the Dictionary and Chapter 12 Gearing of IFToMM Terminology [4] is shown; content of the Dictionary in the whole and the same in separate basic sections are presented. In particular, the following features are mentioned including section “Spiroid gear drives” (introduction of German and French terms); “Accuracy and control” (compilation terms and designations from different sources with additional terms accordance to authors identification); “Strength and scuffing design” (identification of terminology in Russian on scuffing design with terminology on English, French and German, fulfilled*

by authors); “Classification of gearing, gear drives and gears” (differenced by various features, namely, common arrangement of axes, form of initial surfaces of conjugate linkages and others).

**Ключевые слова:** зубчатая передача, словарь-справочник, идентификация, классификация, признаки классификации.

**Keywords:** gear drive, reference-dictionary book, identification, classification, classification features.

C. 60–66

УДК 662.998-494

*А. Г. Элбакян, аспирант, Воткинский филиал ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» (A. G. Elbakian, Post-graduate, Votkinsk branch of Kalashnikov ISTU)*

*Б. А. Сентяков, доктор технических наук, Воткинский филиал ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» (B. A. Sentyakov, DSc in Engineering, Professor, Votkinsk branch of Kalashnikov ISTU)*

### **Экспериментальное исследование процесса пирообработки холстов из супертонкого базальтового волокна (Experimental Research of Pyro Treatment of Canvases Made of Super Thin Basalt Fiber)**

*Основной целью выполненного экспериментального исследования процесса пирообработки образцов холстов из супертонкого базальтового волокна, полученных на действующей промышленной установке, реализующей дуплексную технологию их производства, является подтверждение эффекта уменьшения пылевыведения при работе с такими холстами и формирование рекомендаций для назначения параметров процесса пирообработки. Актуальна проблема по максимальному уменьшению выделения пыли от материалов, используемых в производствах. Мелкодисперсная пыль, содержащаяся в холстах из базальтового волокна, вредна для кожи, слизистой оболочки и в особенности для легких человека. Даже при условии, что содержание пыли в производственном помещении находится в пределах норм, установленных техническими требованиями, аккумулируемое за годы работы воздействие на дыхательные пути имеет пагубные последствия для организма человека.*

*Перед началом исследований процесса пирообработки была поставлена задача – предложить методику количественной оценки содержания в холстах из супертонкого базальтового волокна пылевидных включений. Такие включения могут загрязнять окружающее пространство производственного помещения при работе с холстами, при их ручной транспортировке, складировании, ручной упаковке или при изготовлении из них изделий заданной геометрической формы. Очевидно также, что эффективность процесса пирообработки холстов из базальтового волокна будет существенным образом зависеть от параметров теплового поля, создаваемого источником пламени. Поэтому следующая задача состояла в изучении распределения в пространстве высокотемпературного поля пламени горелки. На основном этапе исследований пламенем обрабатывались образцы холстов из супертонкого базальтового волокна при различной длительности воздействия, и проводился сравнительный анализ с необработанными образцами. Результаты свидетельствуют о влиянии обработки холстов пламенем на уменьшение количества мелкодисперсной пыли, выходящей из образцов в воздух при тряске и других видах механического воздействия.*

*The main purpose of the performed experimental research of heat treatment of samples of canvases made of super thin basalt fiber obtained at the operating industrial plant that implements the duplex technology of their production is to confirm the effect of decreasing the dust emission when working with such canvases and forming recommendations for assigning the parameters of the pyro treatment process. The relevant problem is the maximum reduction in the release of dust from materials used in production. Fine dust, contained in canvas made of basalt fiber, is very harmful to the skin, mucous membrane and especially to the lungs. Even with the condition that the dust content in the production room is within the limits set by the technical requirements, the impact on the respiratory tract accumulated over the years has harmful consequences for the human body.*

*Before the beginning of the research of the pyro treatment process, the task was set to propose a technique for quantifying the content of dust-like inclusions in canvas made from super thin basalt*

fiber. Such inclusions can pollute the surrounding area of the production premises when working with canvases, when hand-transporting, storing, hand-packaging or manufacturing products of a given geometric shape. It is also obvious, that the efficiency of the process of pyro processing of canvases from basalt fiber will depend substantially on the parameters of the thermal field created by the flame source. Therefore, the next task was to study the regularity of the temperature distribution in the high-temperature field of the burner flame. At the main stage of flame studies, samples of canvases from super thin basaltic fiber were treated at different exposure times, and a comparative analysis was carried out with untreated samples. The obtained data testify to the positive results of such treatment of canvases, which substantially reduces the amount of fine dust emerging from the samples into the air during shaking and other types of mechanical impact.

**Ключевые слова:** супертонкое базальтовое волокно, пирообработка, пылевыведение, загрязнение окружающей среды.

**Keywords:** super thin basalt fiber, pyro treatment, dust extraction, environmental pollution.

C. 67–70

УДК 621.52-50 (045)

*В. И. Сидоренко*, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
(*V. I. Sidorenko*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU)

*И. В. Штенников*, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
(*I. V. Shtennikov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU)

**Математическая модель теплового состояния основы в процессе вакуумного хромирования полых деталей (Mathematical Model of the Thermal State of the Basis in the Course of Vacuum Chromium Plating of Hollow Details)**

Обоснована актуальность проведения исследований теплового состояния полых детали при нанесении металлических покрытий на поверхность отверстий методом термического испарения материала в вакууме с соосно расположенного стержневого резистивного испарителя.

Проанализированы тепловые процессы, протекающие при вакуумном хромировании полых деталей, приведена схема теплообмена и составлено уравнение, описывающее тепловое состояние  $q(t)$  детали во время осаждения покрытия:

$$q(t) = q_{\text{изл}} + q_{\text{конд}} - q_{\text{дет.нар}} - q_{\text{фаз}} - q_{\text{тор}}.$$

На покрываемую поверхность детали действуют тепловые потоки, образованные за счет излучения испарителя – плотностью  $q_{\text{изл}}$  и выделения теплоты конденсации материала покрытия – плотностью  $q_{\text{конд}}$ . Теплообмен между наружной цилиндрической поверхностью детали и внутренними устройствами вакуумной камеры характеризуется потоком плотностью  $q_{\text{дет.нар}}$ ; передача тепла от торцовых поверхностей детали к элементам технологической оснастки – потоком плотностью  $q_{\text{тор}}$ . На эндотермическую реакцию фазового превращения в материале детали расходуется тепловой поток плотностью  $q_{\text{фаз}}$ .

Вследствие близкого расположения испарителя к покрываемой поверхности достаточно интенсивных режимов нанесения покрытий и хорошей теплоизоляции детали от элементов технологической оснастки принято, что тепло распространяется только в радиальном направлении; испарение материала происходит равномерно по всей длине испарителя; перераспределением тепла вдоль детали и тепловыми потерями ее торцов  $q_{\text{тор}}$  пренебрегаем. Влияние теплоты эндотермической реакции фазового перехода  $q_{\text{фаз}}$  решено не учитывать, поскольку формирование покрытия производят обычно при температурах, не превышающих температуру фазовых превращений в материале детали.

С учетом описанных особенностей условий формирования покрытия составлено уравнение теплопроводности, определены начальные и граничные условия, разработана математическая модель теплового состояния основы (поверхности конденсации).

Результаты теоретических исследований получены методом конечных разностей при использовании метода прогонки. Вычисления выполнены в соответствии с разработанным алгоритмом по программе расчета изменения температуры детали при формировании хромового покрытия на поверхности отверстий.

Отличие расчетных данных математической модели от результатов экспериментальных исследований не превышает 5 %, что подтверждает достоверность полученной математической модели теплового состояния основы в процессе вакуумного хромирования полых деталей с использованием резистивного стержневого испарителя.

Relevance of carrying out researches of the thermal state of a hollow detail when plating the surface of holes is proved by the method of thermal evaporation of material in vacuum from the coaxially located rod resistive evaporator.

The thermal processes proceeding at vacuum chrome plating of hollow details are analysed, the scheme of heat exchange is provided and the equation describing the thermal state of  $q(t)$  of a detail during deposition of the plating is made:

$$q(t) = q_{\text{rad}} + q_{\text{cond}} - q_{\text{det.out}} - q_{\text{phas}} - q_{\text{fac}}$$

The covered surface of a detail is affected by the heat fluxes formed at the expense of radiation of an evaporator with the density  $q_{\text{rad}}$  and emission of condensation heat of the plating material with the density  $q_{\text{cond}}$ . The heat exchange between the external cylindrical surface of the detail and internal devices of the vacuum chamber is characterized by a stream with the density  $q_{\text{det.out}}$ ; the heat transfer from face surfaces of the detail to elements of the industrial equipment is featured by a stream with the density  $q_{\text{fac}}$ . The heat flux with the density  $q_{\text{phas}}$  is spent for heat-absorbing reaction of a phase change in the material of the detail.

Owing to the close arrangement of the evaporator to the covered surface, rather intensive modes of plating, and good thermal insulation of the detail from elements of the industrial equipment, it is accepted that heat is transmitted only in the radial direction; evaporation of material is uniform along the whole length of the evaporator; while redistribution of heat along the detail and thermal losses of its end faces  $q_{\text{fac}}$  are neglected. Influence of heat within the heat-absorbing reaction of the phase change of  $q_{\text{phas}}$  is decided not to be considered, since formation of the plating is made usually at temperatures which are not exceeding the temperature of phase changes in the detail material.

Taking into account the described features of conditions of formation of the plating, the heat conduction equation is worked out, starting and boundary conditions are defined, the mathematical model of the thermal state of the basis (condensing surface) is developed.

Results of theoretical researches are received by the method of finite differences when using a sweep method. Calculations are executed according to the developed algorithm by means of the program of calculation of the detail temperature change when forming the chromium plating on the surface of holes.

The difference of calculation data of the mathematical model from results of the pilot studies does not exceed 5% that confirms the reliability of the received mathematical model of the thermal state of the basis in the course of vacuum chrome plating of hollow details with use of a resistive rod evaporator.

**Ключевые слова:** полые детали, вакуумное хромирование, тепловые процессы, температура основы, математическая модель.

**Keywords:** hollow details, vacuum chromium plating, thermal processes, basis temperature, mathematical model

C. 71–75

УДК 621.833

*В. Е. Антонюк*, доктор технических наук, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск (*V. E. Antonjuk*, DSc in Engineering, Joint Institute of Mechanical Engineering of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk)

*А. М. Гоман*, кандидат технических наук, доцент, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск (*A. M. Goman*, PhD in Engineering, Associate Professor, Joint Institute of Mechanical Engineering of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk)

*Н. Н. Ишин*, доктор технических наук, доцент, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск (*N. N. Ishin*, DSc in Engineering, Joint Institute of Mechanical Engineering of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk)

*М. М. Кане*, доктор технических наук, профессор, Белорусский национальный технический университет, Минск (*M. M. Kane*, DSc in Engineering, Professor, Belarusian National Technical University, Minsk)

*В. В. Комиссаров*, кандидат технических наук, доцент, Белорусский государственный университет транспорта, Гомель (*V. V. Komissarov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Belarusian State University of Transport, Gomel)

*А. С. Скороходов*, кандидат технических наук, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск (*A. S. Skorokhodov*, PhD in Engineering, Joint Institute of Mechanical Engineering of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk)

*Л. А. Сосновский*, доктор технических наук, профессор, ОАО «Трибофатика», Гомель, Беларусь (*L. A. Sosnovskiy*, DSc in Engineering, Professor, S&P Group Tribofatigue Ltd., Gomel, Belarus)

*В. Е. Старжинский*, доктор технических наук, Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого Национальной академии наук Беларуси», Гомель (*V. E. Starzhinsky*, DSc in Engineering, SSI “V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus”, Gomel)

*Е. И. Тескер*, доктор технических наук, профессор, Волгоградский технический университет (*E. I. Tesker*, DSc in Engineering, Professor, Volgograd State Technical University)

**Проблемы стандартизации в области зубчатых передач и некоторые результаты разработки нормативной документации. Часть 2. Стандартизация в области испытаний, нормирования надежности и вибродиагностики зубчатых передач (Problems in Gearing Standardization and Some Results in Normative Documentation Development. Part 2. Standardization in the Field of Testing, Rationing Reliability and Vibration Diagnostics of Gearing)**

*В первой статье, опубликованной в журнале «Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» (2017, т. 20, № 2), было рассмотрено современное состояние и общие тенденции в развитии системы стандартизации в области зубчатых передач. Обсуждались проблемы гармонизации стандартов ГОСТ, СТБ с международными и национальными стандартами других стран, в частности, стандартов, регламентирующих требования по геометрии исходных контуров, показателям точности, детерминированным и вероятностным методам расчета на прочность. В данной статье рассматриваются вопросы гармонизации стандартов в области расчета несущей способности зубчатых передач и прогнозирования их ресурса. Показано, что простого механического перевода стандартов ISO недостаточно, так как в ряде отечественных стандартов имеются методики, в стандартах ISO отсутствующие. Относительно стандартов ISO по расчету нагрузочной способности зубчатых передач отмечается также, что их эффективное использование доступно только высококвалифицированным специалистам. В контексте определения рациональных норм надежности проектируемой техники в статье рассматривается случай оценки надежности проектируемого объекта с учетом взаимной коррелированности между отказами элементов на примере промежуточного вала редуктора ведущего моста грузовика с двойной центральной главной передачей. Рассматривается также целесообразность развития национальной системы стандартов в области «Надежность в технике» с точки зрения современных достижений мировой и отечественной науки в области оценки технического состояния и диагностики машин и их наиболее ответственных узлов. Отдельные разделы посвящены конкретному описанию стандартов, касающихся методов совмещенных испытаний на изгибную и контактную усталость образцов материалов для изготовления зубчатых колес; нормирования надежности механического привода и некоторых вопросов развития нормативной базы вибродиагностики.*

*In the first paper of this series, published in No 2, 2017 of “Bulletin of Kalashnikov ISTU” the current state and general trends in the development of the standardization system in the field of gears were considered. The problems of harmonization of GOST and STB standards with international and national standards of other countries, in particular, standards, regulatory requirements to the geometry of the basic rack tooth profiles, accuracy rate, deterministic and probabilistic*



*methods of strength calculation were discussed. This paper discusses the issues of harmonization of standards calculation of load capacity of gears and their life-time forecasting. It is shown that simple mechanical translation of corresponding ISO standards is not enough, since there are methods in a number of national standards, that are missing in ISO standards. Regarding the ISO standards for the calculation of load capacity of gears it is also noted that their effective use is only available for highly qualified specialists. In the context of defining appropriate standards of reliability design technique the paper describes the case of assessment of reliability of the designed object, based on the mutual correlation between failures of elements on the example of the intermediate shaft of gearbox drive axle truck with dual CPU and main gear. The feasibility of development of national system of standards "Reliability in engineering" from the point of view of modern achievements of world and domestic science in the field of evaluation of technical condition and diagnostics of machines and their most critical components is considered too. Separate sections are devoted to specific description of the standards for methods of test for combined bending and contact fatigue samples of materials for the manufacture of gear wheels; the normalization of the reliability of mechanical drive and some questions of the normative basis of vibration diagnostics.*

**Ключевые слова:** зубчатые передачи, стандартизация, гармонизация, комбинированные испытания, надежность, вибродиагностика.

**Keywords:** gear drives, standardization, harmonization, combined tests, durability, vibration diagnostics.

C. 76–81

УДК 699.816.35

*Е. В. Макарова*, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*E. V. Makarova*, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU)

*А. Н. Рыкин*, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*A. N. Rykinin*, Master's Degree Student, Kalashnikov ISTU)

### **Исследование гидродинамических параметров в спринклерных установках пожаротушения (Study of Hydrodynamic Parameters in Sprinkler Fire Extinguishing Systems)**

*Обосновывается актуальность построения математической модели, описывающей изменение гидродинамических параметров потока жидкости в трубопроводной системе спринклерной автоматической установки пожаротушения. При математическом описании движения жидкости на участке трубопроводной системы автоматической установки пожаротушения применяется запись уравнения движения в виде обыкновенного дифференциального уравнения, описывающего изменение скорости жидкости по времени. На тестовом примере проведена оценка адекватности расчетных значений скорости движения жидкости, полученных по предлагаемой модели с результатами аналитического решения, выбран наиболее оптимальный шаг интегрирования. Разработанная математическая модель апробирована на примере аксонометрической схемы спринклерной автоматической установки пожаротушения. Приводятся результаты численных расчета изменения по времени скорости и массового расхода жидкости в зависимости от условий вскрытия теплового замка спринклерного оросителя с учетом изменения давления в гидропневмобаке, в зависимости от протяженности участков распределительной трубы. Производится численное исследование влияния изменения площади проходного сечения спринклерного оросителя и давления в гидропневмобаке по времени на скорость и массовый расход жидкости. Представлены выводы для случаев, если ороситель имеет задержку по времени до достижения полного проходного сечения и если в системе присутствует непостоянное давление.*

*The actuality of constructing a mathematical model describing the change in the hydrodynamic parameters of the liquid flow in the pipeline system of a sprinkler automatic fire extinguishing installation is substantiated. In the mathematical description of fluid motion in the section of the pipeline system of an automatic fire extinguishing system, a motion equation is written in the form of an ordinary differential equation describing the change in the fluid velocity with respect to time. In the*

*test example, the adequacy of the calculated values of the fluid velocity obtained by the proposed model with the results of the analytical solution was estimated, the most optimal integration step was chosen. The developed mathematical model is approved by an example of an axonometric scheme of a sprinkler automatic fire extinguishing installation. The results of numerical calculations of the time variation of the velocity and mass flow rate of the liquid are presented, depending on the conditions for opening the sprinkler thermal lock, taking into account the pressure change in the gyro-pneumatic tank, depending on the length of the distribution pipe sections. A numerical study is made for the effect of the change in the area of the cross-sectional area of the sprinkler irrigation system and the pressure in the hydropneumatic tank in time on the speed and mass flow of the liquid. Conclusions are given for cases where the sprinkler has a time delay before reaching the full flow cross-section, and if there is a non-constant pressure in the system.*

**Ключевые слова:** спринклерные системы, трубопровод, математическая модель, гидродинамические параметры.

**Keywords:** sprinkler systems, pipelines, mathematical model, hydrodynamic parameters.

C. 82–85

## **ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ**

УДК 623.593; 681.31; 004.021

*С. Ф. Егоров*, кандидат технических наук, доцент, Институт механики УрО РАН  
(*S. F. Egorov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Institute of Mechanics Ural Branch of the Russian Academy of Sciences)

*В. С. Казаков*, кандидат технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
(*V. S. Kazakov*, PhD in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU)

*В. А. Афанасьев*, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*V. A. Afanasyev*, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU)

*И. Г. Корнилов*, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*I. G. Kornilov*, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU)

*И. В. Коробейникова*, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
(*I. V. Korobeynikova*, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU)

**Эволюция электронных акустических мишеней: исследование сверхзвуковых математических моделей (Evolution of Electronic Acoustic Targets: Research of Supersonic Mathematical Models)**

*Приведена история совершенствования математических моделей сверхзвуковых акустических мишеней для стрелкового оружия на кафедре «Вычислительная техника» ИжГТУ имени М. Т. Калашникова и в Институте механики УрО РАН за 25 лет. Электронные акустические мишени широко используются для испытания и диагностики стрелкового и артиллерийского оружия на производствах и военных приемах и для повышения их точности. Исследованы модели мишеней с различным размещением акустических датчиков, мишени, инвариантные к позиции стрельбы, и мишени, работающие на открытом воздухе при ветреной обстановке. В каждой модели проанализированы обоснованные упрощения физических процессов. Показаны основные факторы, влияющие на точность определения точки попадания. Приведены математические и конструкторские методы по снижению погрешностей работы акустической мишени, такие как несимметричное расположение акустических датчиков на рамной конструкции для невырождения системы уравнений, использование взвешенных моментов времени при обработке сигналов с датчиков для инвариантности ориентации датчиков, учет умеренного ламинарного ветра при испытаниях на открытом воздухе путем обоснованного усложнения математической модели и увеличения количества датчиков, учет угла курса и угла падения траектории объекта в пространстве мишени для определения точки вылета путем преобразо-*

вания координат в математической модели, использование вторичной регрессионной математической модели для уменьшения неучтенных погрешностей. Сделан вывод о перспективности дальнейших исследований и усовершенствований математических моделей сверхзвуковых электронных акустических мишеней с целью повышения их точности и снижения себестоимости.

*The paper considers the history of improvement of mathematical models of supersonic acoustic targets for small arms at the Computer facilities department of ISTU of M. T. Kalashnikov and at Institute of mechanics of the Ural Branch of RAS in 25 years. Electronic acoustic targets are widely used for test and diagnostics of small and artillery arms on productions and military acceptance and increase in their accuracy. Models of targets with various placement of acoustic sensors are investigated, targets firing practice, invariant to a position, and the targets working in the open air at a windy situation are analysed with reasonable simplifications of physical processes in each model. The major factors influencing the accuracy of definition of a point of hit are shown. Mathematical and design methods on decrease in errors of work of an acoustic target are given, such as: the asymmetrical arrangement of acoustic sensors in a frame design for non-degeneration of system of the equations, the use of the weighed timepoints when processing signals from sensors for invariancy of orientation of sensors, the accounting of moderate laminar wind at tests by reasonable complication of mathematical model and increase in number of sensors, the accounting of an angle of a course and hade of a trajectory of an object in target space for definition of the departure point by transformation of coordinates in mathematical model, and the use of secondary regression mathematical model for reduction of unaccounted errors in the open air. The conclusion is drawn on prospects of further researches and improvements of mathematical models of supersonic electronic acoustic targets to increase their accuracy and decrease their prime cost.*

**Ключевые слова:** акустическая мишень, акустический датчик, погрешность, система уравнений, измерительная система, математическая модель.

**Keywords:** acoustic target, acoustic transducer, error, system of equations, measuring system, mathematical model.

C. 86–93

УДК 621.355

*V. A. Starodubtseva*, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*V. A. Starodubtseva*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU)

*М. О. Шкляев*, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*M. O. Shklyayev*, Master's Degree Student, Kalashnikov ISTU)

**Разработка схемы управления зарядом модуля суперконденсаторов и определение ее работоспособности путем моделирования (Development of the Scheme of Controlling the Charge of the Ultracapacitor Module and Definition of Its Workability by Modeling)**

*В данной статье рассматривается проблема создания гибридной аккумуляторной батареи на основе литиевых батарей и суперконденсаторов, которая бы сохраняла свою работоспособность при низких температурах. Данная проблема основывается на решении задачи заряда модуля суперконденсаторов. Необходимо создание устройства, которое бы могло осуществлять предварительный заряд модуля суперконденсаторов, а также поддерживать напряжение на нем на определенном уровне.*

*Для решения данной задачи был проведен анализ характеристик аккумуляторных батарей и суперконденсаторов. Было подтверждено мнение, что суперконденсаторы имеют гораздо лучшие температурные характеристики и характеристику количества циклов заряда-разряда.*

*Разработана структурная схема гибридного аккумулятора, и описан принцип ее работы. В статье раскрываются процессы создания некоторых узлов данной схемы, таких как устройство предварительного заряда модуля суперконденсаторов и устройство управления преобразователем постоянного напряжения, который связывает аккумуляторную батарею и модуль суперконденсаторов. Статья содержит расчет основных параметров схемы и описание выбора используемых устройств.*

Статья также содержит описание такого вспомогательного устройства, как адаптер преобразователя напряжения, который служит для его дистанционного управления.

Работоспособность всех разработанных схем, описанных выше, проверяется с помощью моделирования в компьютерной среде Multisim. На основе данных, полученных при моделировании, проведен анализ работоспособности полученных схем. Для подкрепления полученных результатов собрана общая схема для заряда модуля суперконденсаторов. Данные моделирования подтверждают работоспособность общей схемы, вследствие чего сделано заключение о возможности использования данной схемы на практике.

Использование суперконденсаторов в гибридных аккумуляторных батареях имеет ряд проблем, но они решаемы с помощью схем управления, к примеру, как приведенная схема в данной статье.

*The paper considers the problem of development of a hybrid battery based on lithium batteries and ultracapacitors that would keep its serviceability at low temperatures. This issue is based on solving the problem of the module charge of ultracapacitors. The device is to be developed, that could perform the preliminary charging the module of ultracapacitors and keep the voltage in it at a definite level. In order to solve this problem, characteristics of accumulator batteries and ultracapacitors were analyzed. The opinion was proved that ultracapacitors have much better temperature characteristics and the characteristics of the number of "charge-recharge" cycles. The structural scheme of a hybrid battery was developed and its operation was described. The paper considers the processes of development of specific units of this scheme such as the device for preliminary charging of the ultracapacitor module and the device for controlling the direct voltage transducer that connects the accumulator battery and the module of ultracapacitors. The paper contains the calculation of main parameters of the scheme and description of choosing the applied devices. The paper also comprises the description of such an auxiliary device as the adaptor of voltage transformation which serves for its distant control. The workability of all the described above developed schemes is checked by means of modeling in the software media Multisim. Based on the data obtained at modeling, the workability of the obtained schemes is analyzed. To substantiate the obtained results, a general scheme for charging the ultracapacitor module is assembled. Results of modeling prove the workability of the general scheme, therefore, the conclusion is made on possibility to apply this scheme in practice. Application of ultracapacitors in hybrid accumulator batteries has a number of problems, but they can be solved by control schemes, for example, similar to the scheme that is considered in the paper.*

**Ключевые слова:** суперконденсатор, гибридный аккумулятор, моделирование, Multisim.

**Keywords:** ultracapacitor, hybrid battery, modeling, Multisim.

С. 94–104

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.932.2

Аль Аккад М. А., кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (M. A. Al Akkad, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU)

Ф. Ф. Газимзянов, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (F. F. Gazimzyanov, Student, Kalashnikov ISTU)

**Автоматизированная система оценки композиционных характеристик 2D-изображения: математическая модель (Automated System for Evaluating 2D-Image Compositional Characteristics: Mathematical Model)**

Описывается контекст построения математической модели, представленный в предыдущей публикации авторов – концепция автоматизированной системы оценки композиционных характеристик 2D-изображений. Эксперимент Рудольфа Арнхейма для определения визуального веса объектов с использованием структурного плана квадрата и темного диска повторяется с использованием математического представления понятий, данных в книге «Искусство и

визуальное восприятие». Структурный план используется как система отсчета, которая имеет ключевые точки, линии и координаты. Описываются параметры объектов и формулы расчета величины влияния перцептивных сил. Предлагается метод оценки равновесия визуальной сцены, согласно принципам, изложенным в книге «Искусство и визуальное восприятие». Математическая модель эксперимента Арнхейма представляется в разных стадиях, при разном положении объекта в визуальной сцене относительно исследуемого источника перцептивной силы; объясняются факторы, влияющие на восприятие объекта внутри структурного плана, особенности ключевых позиций объектов. Предлагается экспериментально построенная функция для определения визуального веса объекта в зависимости от дистанции до источника перцептивных сил. Обосновывается использование метода интерполяции сплайном Акимы для получения качественного графика функции, лишенного «осцилляций» около экстремумов и при резких сменах значений. Предлагаются альтернативные графики функций для различных источников влияния перцептивных сил, объясняется разница в принципах действия разных источников. Вводятся коэффициенты для разных перцептивных факторов и источников влияния, которые обеспечат точную настройку системы. Предлагается метод настройки коэффициентов системы. Полученная математическая модель подтверждает возможность программной реализации методов, предложенных Арнхеймом в своей книге.

*Mathematical model creation was presented in a previous publication of the authors. It is the concept of an automated system for estimating the compositional characteristics of 2D images. Rudolf Arnheim's experiment to determine the visual weight of objects using the structural plan of a square and a dark disk is repeated using a mathematical representation of the concepts given in the book "Art and Visual Perception". The structural plan is used as a frame of reference, which has key points, lines and coordinates. The parameters of objects and formulas for calculating the magnitude of the perceptual forces influence are described. A method for estimating the balance of a visual scene is proposed. The mathematical model of Arnheim's experiment is represented in different stages, with a different position of the object in the visual scene relative to the source of perceptual force being investigated. The factors that affect object's perception within the structural plan, and the features of the key positions of the objects are explained. An experimentally constructed function to determine the visual weight of an object is proposed depending on the distance to source of the perceptual forces. Akima spline interpolation method was used for obtaining a qualitative graph of the function, devoid of "oscillations" near extremes and with sharp changes in values. The alternative graphs of functions for various sources of influence of perceptive forces are offered, and the difference in the principles of the action of different sources is explained. The coefficients for different perceptive factors and sources of influence are introduced, which will ensure accurate tuning of the system. A method for adjusting the coefficients of the system is proposed. The obtained mathematical model confirms the possibility of program realization of the methods proposed by Arnheim.*

**Ключевые слова:** Р. Арнхейм, Х. Аким, анализ изображений, композиционные характеристики, равновесие, математическая модель, интерполяция.

**Keywords:** R. Arnheim, H. Akima, image analysis, compositional characteristics, balance, mathematical model, interpolation.

C. 105–108

УДК 004.932.2

*Р. М. Гафаров*, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*R. M. Gafarov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU)

*И. О. Архипов*, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*I. O. Arkhipov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU)

*А. В. Коробейников*, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*A. V. Korobeynikov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU)

*М. О. Еланцев*, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*M. O. Elantsev*, Post-graduate, Kalashnikov ISTU)

## **Применение метода статистической дифференциации для координатной привязки аэрофотоизображения к космическому снимку (Application of the Method of Statistical Differentiation for the Gridding of Aerophoto Image to a Satellite Image)**

*В работе рассматриваются вопросы создания автономной системы навигации для беспилотных летательных аппаратов путем координатной привязки бортовых изображений к космическому снимку местности. Данная система может применяться при навигации в условиях помех спутникового сигнала глобального позиционирования (GPS, ГЛОНАСС) при сохранении режима радиомолчания. По изображениям бортового снимка летательного аппарата и соответствующего участка космического снимка вычисляются особые точки, объединяемые в треугольники. Каждый треугольник описывается дескриптором, в который входит информация о типах особых точек, образующих этот треугольник, порядке их обхода и о положении вершины треугольника относительно основания. Сопоставление двух снимков по полученным треугольникам осуществляется с помощью метода статистической дифференциации, который позволяет существенно снизить объем перебора за счет сопоставления только эквивалентных треугольников с одинаковыми дескрипторами. Результатом сопоставления треугольников двух изображений является множество пар соответственных отрезков, среди которых выбирается пара с наилучшим показателем корреляции. По выбранной паре отрезков определяются параметры сдвига, поворота и коэффициента масштабирования, которые позволяют привязать координаты снимка бортовой камеры летательного аппарата к космическому снимку местности. В заключение статьи приведен пример участка построенной траектории беспилотного летательного аппарата с привязкой к космическому снимку.*

*The work deals with the creation of an autonomous navigation system for unmanned aerial vehicles by way of gridding airborne images to a satellite image of the terrain. This system can be used for navigation in conditions of global positioning signal (GPS, GLOBASS) interference while maintaining the radio silence mode. Special points combined into triangles are calculated according to the images of the airborne image of the aircraft and the corresponding part of the satellite image. Each triangle is described by a descriptor, which includes information about the types of special points forming this triangle, the order of their visiting, and the position of the vertex of the triangle relative to the base. Using the method of statistical differentiation can significantly reduce the amount of enumeration by comparing only equivalent triangles with the same descriptors. The result of comparing the triangles of the two images is the set of pairs of corresponding segments, among which the pair with the best result of correlation criteria is selected. The chosen pair of segments gives the parameters of the shift, rotation and the scaling factor, which allow you to tie the coordinates of the picture of the onboard camera of the aircraft to the space image of the terrain. In the conclusion of the paper, an example is given of the constructed trajectory of an unmanned aerial vehicle with reference to a satellite image.*

**Ключевые слова:** навигация, летательный аппарат, БПЛА, машинное зрение, космический снимок.

**Keywords:** navigation, aerial vehicle, UAV, computer vision, satellite image.

C. 109–112

УДК 004.85, 004.896

Ю. В. Николаева, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (Yu. V. Nikolaeva, Postgraduate, Kalashnikov ISTU)

## **Методика нейросетевой классификации ситуаций на финансовых рынках и ее реализация в ИСППР (Method of Neuronet Classification of Situations in Financial Markets and Its Implementation in IDSS)**

*Задача разработки инструментов анализа финансовых рынков, основанных на современных методах искусственного интеллекта, имитирующих работу трейдеров рынка, которым для принятия решения необходимо проанализировать большое количество разнородной информации о рынке, становится все более актуальной в настоящее время. В статье рассматривается применение нейросетевого классификатора в качестве ядра интеллектуальной системы поддержки принятия решений трейдера финансовых рынков. Обозначены ос-*

новые характеристики систем типа интеллектуальная система поддержки принятия решений. Приведена методика нейросетевой классификации рыночных ситуаций, построенная с применением различных подходов к анализу финансовых рынков, таких как технический, фундаментальный анализ и эконометрическое моделирование. Основу методики составляет интегрированный анализ информации на основе нейронной сети топологии многослойный перцептрон. Представлены результаты проектирования системы, использующие алгоритм методики нейросетевой классификации рыночных ситуаций, архитектура системы, исследования работоспособности и эффективности работы интеллектуальной системы поддержки принятия решений трейдеров на финансовых рынках, основанной на описанной методике классификаций рыночных ситуаций. По результатам экспериментального исследования на нормированной по параметрам эксперимента выборке обозначена эффективность работы системы в 83 %.

*The task of developing tools for analyzing financial markets based on modern methods of artificial intelligence, imitating the work of market traders, who need to analyze a large amount of heterogeneous information about the market for decision-making, is becoming increasingly relevant at the moment. The paper deals with the application of a neural network classifier as the core of an intellectual decision support system for a trader in financial markets. The main characteristics of systems such as an intelligent decision support system are identified. The technique of neuronet classification of market situations, using various approaches to the analysis of financial markets, such as technical, fundamental analysis and econometric modeling, is presented. The basis of the methodology is the integrated information analysis based on the neural network topology multilayer perceptron. The results of system design using the algorithm of neural network classification of market situations, the architecture of the system, the study of efficiency and efficiency of the intellectual decision support system for traders in the financial markets based on the described methodology of classifications of market situations are presented. According to the results of the experimental study, the efficiency of the system in 83% is indicated on the sample, which is normalized by the parameters of the experiment.*

**Ключевые слова:** нейронная сеть, классификация, рыночные ситуации, интеллектуальная система поддержки принятия решений, многослойный перцептрон.

**Keywords:** neural network, classification, market situations, intelligent decision support system, multilayer perceptron.

С. 113–116

УДК 517.977

*Е. С. Чухланцев*, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (E. S. Chukhlantsev, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU)

*Г. А. Благодатский*, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (G. A. Blagodatsky, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU)

*И. А. Осколков*, студент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (I. A. Oskolkov, Student, Kalashnikov ISTU)

**Разработка автоматизированной информационной системы мониторинга состояния здоровья пациента с применением облачных технологий (The Development of Automated Information System of Monitoring the State of Health of the Patient with Application of Cloud Technologies)**

*В рамках данной статьи рассмотрены существующие на сегодняшний день проблемы, возникающие при оказании специализированной медицинской помощи больным людям. Далее была разработана концептуальная модель системы автоматизированного мониторинга состояния здоровья пациента. На основе оригинальной концептуальной модели была разработана математическая модель, позволившая произвести построение ER- и UML-диаграмм, необходимых для более детального анализа протекающих внутренних процессов. Исследование процесса автоматизации мониторинга опасных для здоровья сочетаний симптомов и ус-*

тановленных наборов опасных состояний здоровья позволило собрать реляционную базу данных (на основе среды разработки SQLite 3), необходимую для грамотной и безотказной функциональности системы. Локализация возможных симптомов существующих болезней и поражений частей тела в единый графический интерфейс, связанная с разработанными моделями классов предметной области и структурой данных информационной системы, позволило реализовать дружелюбный графический интерфейс пользователя. Для доведения разработанной информационной системы до общедоступного уровня было принято решение о применении в основе разработки облачных веб-технологий. Размещение автоматизированной системы мониторинга состояния здоровья пациента планируется произвести на облачных серверах, что, в свою очередь, окажет положительный эффект как с точки зрения доступности, так и возможности мгновенного распространения выпущенных обновлений.

*The paper considers the existing nowadays problems appearing when giving a specialized medical aid to the diseased. The conceptual model of the automated system of monitoring the state of health of the patient has been further developed. Based on the original conceptual model, the mathematical model has been developed that allowed for plotting the ER- and UML-diagrams necessary for more detailed analysis of the current inside processes. Investigation of the process of automation of monitoring the combinations of symptoms dangerous for health and established sets of dangerous states of health allowed for collecting the relation database (based on the SQLite 3 design media), necessary for valid and non-fail operation of the system. Localization of possible symptoms of existing illnesses and damages of body parts into a single graphic interface related to the developed models of classes of the subject area and structure of data of the information system allowed for implementing the friendly graphic user's interface. To further develop the created information system up to the commonly available level, the decision was made on application of cloud web technologies as its basis. It is planned to locate the automated system of monitoring the state of health of the patient on cloud servers which, in turn, will have a positive effect both from points of view of availability and instant distribution of released upgrades.*

**Ключевые слова:** мониторинг состояния здоровья, математическое моделирование, опасные состояния, локализация симптомов, базы данных, интерфейс пользователя, UML.

**Keywords:** health monitoring, mathematical modeling, dangerous states, localization of symptoms, databases, user interface, UML.

C. 117–120

УДК 004.42

*И. А. Кузьмин*, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*I. A. Kuzmin*, Master's Degree Student, Kalashnikov ISTU)

*А. И. Коршунов*, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*A. I. Korshunov*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU)

**Анализ преимуществ и недостатков мобильной навигационной системы «HUDWAY» и ее конкурентов (Analysis of Advantages and Drawbacks of the Mobile Navigation System «Hudway» and Its Competitors)**

*Статья посвящена анализу достоинств и недостатков наиболее популярных в настоящее время на рынке программного обеспечения мобильных приложений для навигации. Популярность такого рода приложений в целом очень высока, что определяется высоким уровнем мобильности современного общества и необходимостью оперативной навигации, в первую очередь, в городском пространстве. Насыщенность рынка программным обеспечением разных производителей довольно велика, высокая конкуренция диктует требования к функционалу и сервисам, предоставляемым пользователю, в связи с чем производители для повышения конкурентоспособности вынуждены расширять дополнительные сервисы. Особое внимание уделяется рассмотрению преимуществ и недостатков навигационной программы «Hudway», разрабатываемой компанией «Русские информационные технологии», и сравнение ее характеристик с параметрами существующих программ навигации, представленных*



на рынке. Важной особенностью данной программы является предоставление сервиса, обеспечивающего отражение маршрута на лобовом стекле автомобиля, что позволяет водителю комфортно и безопасно пользоваться навигацией, не отрывая взгляда от дороги. Авторами проведено практическое исследование рассмотренных в статье мобильных приложений. Особое внимание уделяется проблемам обеспечения безопасности при применении программ в процессе управления транспортным средством и повышению экономичности стиля вождения.

*The paper is devoted to the analysis of advantages and drawbacks of the currently popular software on the market of mobile navigation applications. The popularity of such applications in general is very high, which is determined by the high level of mobility of modern society and the need for operational navigation, primarily in the urban space. Market saturation with software from different manufacturers is quite high, high competition dictates the requirements for the functionality and services provided to the user, so manufacturers have to expand additional services to increase their competitiveness. Particular attention is paid to the advantages and drawbacks of the navigation program "Hudway", developed by the company "Russian Information Technologies", and comparison of its characteristics with the parameters of existing navigation programs on the market. An important feature of this program is the provision of a service that reflects the route on the windshield of the car, which allows the driver to navigate comfortably and safely, without taking his eyes off the road. The authors conducted a practical study of the mobile applications discussed in the paper. Particular attention is paid to the problems of ensuring safety in the application of programs in the process of driving a vehicle and improving the economy of driving style.*

**Ключевые слова:** мобильная навигация, управление транспортным средством, обеспечение безопасности, безопасное управление.

**Keywords:** mobile navigation, vehicle management, security, safe management.

C. 121–125

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 504.064.36

*В. А. Алексеев*, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
(*V. A. Alekseev*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU)

*В. П. Усольцев*, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*V. P. Usoltsev*, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU)

*С. И. Юран*, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
(*S. I. Yuran*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU)

### **Автоматизация устранения аварийных сбросов в системах очистки сточных вод (Automation of Removal of Emergency Discharges in Sewage Treatment Systems)**

*Рассматривается один из подходов к организации в системах сточных вод промышленных предприятий процесса устранения загрязняющих веществ, вызванных запроектными авариями. Рассматриваются случаи, когда аварийный сброс представляет сгусток однородной жидкости, образованный в сточных водах при аварии на каком-либо элементе производственного процесса (оборудование, емкости, трубопроводы с веществами, не попадающими в сточные воды при нормальном техпроцессе производства).*

*Предлагается обнаруженные сгустки аварийных сбросов направлять в отстойники. Для контроля аварийных сбросов предложено использовать оптические методы обнаружения сгустков с измерением изменений оптической плотности жидкости в сточной трубе.*

*Рассмотрена схема автоматизированной лабораторной установки для исследования изменений оптической плотности водных сред, позволяющей создавать различные варианты загрязнений. В отличие от ранее используемой установки схема содержит блок излучателей (светодиоды, полупроводниковые лазеры), состоящий из нескольких источников излучения с разной длиной волны излучения. Это позволяет при одной концентрации загрязняющего ве-*

щества измерять оптическую плотность водной среды одновременно на нескольких длинах волн, что ускоряет процедуру проведения опытов и повышает удобство их проведения.

Рассмотрена также схема автоматизированной системы для устранения аварийных сбросов на очистных сооружениях. Использование данной системы снижает вероятность поступления загрязнений в виде сгустков от различных аварий на очистительные фильтры, находящиеся в основном канале движения водной среды, что увеличивает срок службы фильтров очистки.

*The paper considers one of the approaches to the organization of systems of sewage at industrial enterprises in the process of removing contaminants caused by beyond design basis accidents. The cases are discussed when an emergency discharge is a clot of a homogeneous fluid, formed in the wastewater during an accident on any part of the production process (equipment, capacity, piping with substances that do not fall into the wastewater in the normal process of production).*

*It is proposed to direct the discovered clots of accidental discharges to sumps. In order to control the emergency dumping discharges it is suggested to use optical methods for detection of clots by measuring changes in the optical density of the fluid in the sewage pipe.*

*The diagram of the automated laboratory installation for investigating the changes of the optical density of water environments allowing to create different options of pollution is considered. Unlike the earlier used installation, the diagram contains the unit of radiators (LEDs, junction lasers) consisting of several sources of radiation with different wavelength of radiation. It allows to measure the optical density of water environment in case of one concentration of the pollutant simultaneously on several lengths of waves that accelerates the procedure of carrying out the experiments and increases their convenience.*

*Also the diagram of automated system for elimination of abnormal discharges on treatment facilities is considered. Application of this system reduces the probability of arrival of pollution in the form of clots from different accidents on cleaning filters, which are in the main channel of movement of water environment that increases the service life of cleaning filters.*

**Ключевые слова:** аварийный сброс, оптическая плотность, автоматизированная система.

**Keywords:** emergency discharge, optical density, automated system

C. 126–130

УДК 622.279

*И. А. Чернов*, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*I. A. Chernov*, Master's Degree Student, Kalashnikov ISTU)

*В. Н. Диденко*, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова (*V. N. Didenko*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU)

**Метод утилизации попутного нефтяного газа с высоким содержанием азота на месторождениях Удмуртской Республики (The Method of Utilization of Associated Petroleum Gas with High Nitrogen Content in the Fields of the Udmurt Republic)**

*В статье излагаются результаты исследования по актуальной проблеме утилизации попутного нефтяного газа (ПНГ) на месторождениях нефти Удмуртской Республики (УР), где ПНГ содержит в своем составе до 90 % азота и поэтому имеет теплоту сгорания в 4...5 раз меньше, чем у природного газа. Задачи исследования: выбор метода утилизации ПНГ применительно к условиям УР; анализ путей и способов технической реализации выбранного метода утилизации ПНГ; технико-экономическое обоснование принятого способа или установки для утилизации ПНГ. На основании произведенного анализа применимости существующих методов утилизации ПНГ к месторождениям УР выбран метод сжигания в когенерационных установках с преимущественным получением электроэнергии. Проведен сравнительный анализ характеристик двух типов когенерационных установок (электростанций), позволяющих сжигать ПНГ с теплотой сгорания менее 8,0 МДж/м<sup>3</sup>: газотурбинные установки (ГТУ) американской фирмы «Capstone» и газопоршневые установки (ГПУ) российской фирмы «GazEcos». Отмечаются главные технические достоинства рассматри-*

ваемой ГПУ: отсутствие дожимного компрессора; меньшая стоимость установки при одинаковой мощности; возможность использования газообразного топлива с теплотой сгорания от 4,19 МДж/м<sup>3</sup>; импортозамещение. Проводятся результаты расчета дисконтированного срока окупаемости, выбранной ГПУ, подтверждающие ее преимущество.

*The paper presents the results of a study on the topical problem of utilization of associated petroleum gas (APG) in the oil fields of the Udmurt Republic (UR), where APG contains up to 90% of nitrogen and therefore has a calorific value of 4...5 times less than that of natural gas. Objectives of the study are: selection of APG utilization method in relation to conditions of UR; analysis of ways and means of technical implementation of the selected method of APG utilization; feasibility study of the adopted method or installation for utilization of APG. Based on the analysis of the applicability of existing APG utilization methods to the UR fields, a combustion method in cogeneration plants with the production of electricity is chosen. The comparative analysis is performed for the characteristics of two types of cogeneration plants (power stations) allowing the combustion of APG with a combustion heat of less than 8.0 MJ/m<sup>3</sup>: gas turbine units (GTU) of the American firm "Capstone" and gas piston units (GPU) of the Russian company "GazEcos". The main technical advantages of the GPU under consideration are: no booster compressor; a lower cost of installation at the same power; the possibility of using gaseous fuel with a heat of combustion from 4.19 MJ / m<sup>3</sup>; import substitution. The results of calculating the discounted payback period chosen by the GPU, supporting its advantage, are presented.*

**Ключевые слова:** попутный нефтяной газ, утилизация, когенерация, газотурбинная установка, газопоршневая установка, технико-экономическое обоснование.

**Keywords:** associated petroleum gas, utilization, cogeneration, gas turbine unit, gas piston installation, feasibility study.

C. 131–134