

# Содержание журнала “Интеллектуальные системы в производстве», том 16, №2, 2018

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 656.13.08:65.012.12: 65.012:656.11(075)

DOI 10.22213/2410-9304-2018-2-4-18

### **Механические деформации корпуса автомобиля как критерий фальсификации обстоятельств ДТП (Mechanical Deformations of the Vehicle Casing as a Criterion of Falsification of Road Transport Accident)**

*И. В. Гракович*, Москва, Россия (*I. V. Grakovich*, Region director, “Multinet” group company (of Africa), Moscow, Russia)

*Н. П. Кузнецов*, доктор технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*N. P. Kuznetsov*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*В. В. Кулагин*, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*V. V. Kulagin*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*В статье рассмотрены механизмы выявления фактов мошенничества при оформлении материалов дорожно-транспортных происшествий (ДТП), причиной чего является фальсификация его обстоятельств, обусловленных техническими причинами, в частности, фальсификацией обстоятельств получения механических повреждений кузовом автомобиля. В статье проведен анализ признаков такого рода мошенничества. Рассмотрены проблемы выявления такого вида мошенничества и механизмы выявления факта мошенничества. Предложено основным критерием признания факта такого вида мошенничества считать несоответствие геометрии поверхностей полученных повреждений зафиксированным в протоколе осмотра обстоятельствам ДТП. Но ввиду сложности геометрии поверхности деформации корпуса даже определение степени повреждения является сложной задачей. Для решения этой задачи может быть использован метод тестирующих деформаций, когда после приложения к конструкции характерных усилий определяются перемещения реперных точек конструкции. Однако этот метод технически сложен и весьма неточен. Известен также метод построения математической модели сложной геометрической поверхности с использованием так называемых сплайн-функций второго рода, имеющих, однако, весьма большие математические трудности. В статье изложен метод математического моделирования сложных поверхностей на основе использования методов матричной алгебры. Трехмерные модели сложных поверхностей задаются в виде полиномиальных моделей второго порядка, коэффициенты перед аргументами в которых определяются путем математической обработки координат массива реперных точек, превышающих в 3-4 раза количество коэффициентов в модели. При этом поверхность деформированного корпуса должна в зоне контакта с преградой полностью сопрягаться с поверхностью предполагаемой преграды. Следовательно, должна быть область аргументов для первой и второй поверхностей, для которых разность уравнений этих поверхностей по одной и той же координате, например  $Z$ , будет минимальна. Чем больше будет размах этой области изменения координат  $Y$  и  $X$ , тем более достоверным является предположение о соответствии заявленных обстоятельств ДТП реальным событиям. В статье приводится пример оценки возможности фальсификации реального ДТП.*

*The paper deals with the mechanisms for revealing the facts of fraud in the registration of road accidents which are caused by the falsification of its circumstances because of technical reasons, in particular, by falsifying the circumstances of obtaining mechanical damages by a car body. The paper analyzes the signs of this kind of fraud. The problems of identifying such types of fraud and*

*fraud detection mechanisms are considered. It is proposed to consider the mismatch of the geometry of the surfaces of the damages recorded in the inspection report to the circumstances of the accident to be the main recognizing criterion for this type of fraud. In view of the complexity of the geometry of the deformation surface, even determining the degree of damage is a difficult task. To solve this problem, the method of testing deformation can be used, when their displacements are determined after the application of characteristic forces to the reference points. However, this method is technically complex and very inaccurate. There is also a method for making a mathematical model of a complex geometric surface using the so-called spline function of the second kind, which, however, has very great mathematical difficulties. The paper discusses the method for mathematical modeling of complex surfaces based on the use of matrix algebra. Three-dimensional models of complex surfaces are specified in the form of second-order polynomial models, for which the coefficients before the arguments are determined by mathematical processing of the coordinates of the array of reference points, which exceed by 3-4 times the number of coefficients in the model. In this case, the surface of the deformed body must completely mate with the surface of the proposed body in the area of contact with the colliding body. That is, there must be an area of arguments for the first and second surface for which the difference of the equations of these surfaces along the same coordinate, for example, Z-coordinate, will be minimal. The larger the scope of change in coordinates X and Y is, the more reliably the reported circumstances of the accident correspond to actual events. The paper gives an example of an assessment of the possibility of falsification of a real road accident.*

**Ключевые слова:** безопасность дорожного движения, дорожно-транспортное происшествие (ДТП), фальсификация обстоятельств ДТП, деформации корпуса автомобиля, критерий достоверности механических повреждений зафиксированным обстоятельствам ДТП.

**Keywords:** road traffic safety, road traffic accident, falsification of road accidents, car body deformation, criterion of reliability of mechanical damages for the fixed circumstances of road accidents.

УДК 539.431

DOI 10.22213/2410-9304-2018-2-19-23

### **Моделирование циклического упругопластического деформирования при испытаниях материала на изгиб (Modeling of Cyclic Elastoplastic Deformation During Material Testing for Bending)**

*Д. С. Добровольский*, ООО «Научно-производственная фирма «Трест Геопроектстрой», г. Ижевск, Россия (*D. S. Dobrovolsky*, Master's Degree Student, designing engineer, Scientific and Production Company "Trest Geoproektstroy", Izhevsk, Russia)

*В прочностных расчетах элементов конструкций для характеристики напряженного состояния в опасных зонах концентрации (участки резьб, различного назначения выточки, переходы диаметров валов, отверстия, шпоночные пазы, трещины) используются номинальные напряжения, определяемые без учета влияния концентратора, или местные условные напряжения, вычисляемые в предположении упругого деформирования как произведение номинальных напряжений и теоретического коэффициента концентрации. В действительности при перегрузках конструкций, а нередко и в штатных режимах переменного нагружения, в зонах концентрации возникают трехмерные неоднородные поля главных местных напряжений и упругопластических деформаций, которые в результате циклической нестациональности материалов изменяются с ростом числа нагружений.*

*Для определения напряжений и упругопластических деформаций несущих элементов конструкций при простом (пропорциональном или близком к нему) однократном нагружении широко используется сравнительно хорошо разработанная теория малых упругопластических деформаций в формулировке А. А. Ильюшина. Применительно к переменному пропорциональному нагружению деформационная теория пластичности разработана и экспериментально обоснована не в полной мере во многом из-за недостатка современного испытательного оборудования, доступных экспериментальных методик и ограниченности экспериментальных результатов, характеризующих закономерности циклического упругопла-*

стического деформирования широкого круга конструкционных материалов в характерном для несущих элементов конструкций широком диапазоне числа нагружений.

В связи с этим представленная в данной работе сравнительно простая методика, доступное оборудование и полученные результаты экспериментального и аналитического моделирования закономерностей циклического упругопластического деформирования при испытаниях материала на изгиб имеют научное и практическое значение для совершенствования методов оценки усталостной прочности и долговечности несущих элементов конструкций.

*In the strength calculations of structural elements for the characterization of the stress state in dangerous concentration zones (thread sections, various recesses, change of shaft diameters, holes, keyways, cracks) nominal stresses are used, which are determined without taking into account the influence of the concentrator, or local conditional stresses, which are calculated under the assumption of elastic deformation as multiplication of nominal stresses and theoretical concentration coefficient. In reality, when the structures are overloaded and often under the standard modes of variable loading, three-dimensional inhomogeneous fields of the main local stresses and elastoplastic deformations arise in the concentration zones, which are changed with increasing number of loads as a result of cyclic instability of materials. To determine the stresses and elastoplastic deformations of the load-bearing elements of structures under a simple (proportional or close to it) single loading, a comparatively well-developed theory of small elastoplastic deformations in the formulation of A. A. Il'yushin is widely used. With respect to variable proportional loading, the deformation theory of plasticity has been developed and experimentally substantiated not to the full extent largely due to the lack of modern test equipment, available experimental techniques and the limited experimental results characterizing the regularities of cyclic elastoplastic deformation of a wide range of structural materials in a wide range of the number of loads characteristic for load-bearing elements of structures.*

*In connection with this, the relatively simple methodology presented in this paper, the available equipment and the results of experimental and analytical modeling of the regularities of cyclic elastoplastic deformation during testing of the material for bending are of scientific and practical importance for improving the methods for estimating the fatigue strength and durability of load-bearing structural elements.*

**Ключевые слова:** методика, моделирование диаграмм циклического упругопластического деформирования, испытания материала на изгиб.

**Keywords:** technique, modeling of cyclic elastoplastic deformation diagrams, bending material testing.

DOI 10.22213/2410-9304-2018-2-24-27

### **Влияние шероховатости поверхности на циклическую прочность и долговечность штамповой стали при комнатной и повышенной температурах (Influence of Surface Roughness on Cyclic Strength and Durability of Stamping Steel with Room and Increased Temperatures)**

*В. И. Добровольский*, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*V. I. Dobrovolsky*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*С. В. Добровольский*, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*S. V. Dobrovolsky*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*Наряду с концентрацией напряжений и масштабным эффектом качество поверхностного слоя является одним из основных факторов, определяющих циклическую прочность и долговечность элементов конструкций. Существенное влияние на выносливость оказывают возникающие в поверхностных слоях при механической обработке остаточные напряжения. Необоснованное назначение режимов обработки, приводящей к возникновению больших остаточных растягивающих напряжений, прижогов и поверхностных микротрещин, приводит к значительному снижению циклической прочности.*

*Шероховатости поверхностей элементов конструкций и стандартных образцов, используемых для определения характеристик циклической прочности материалов, как правило,*

отличаются между собой. Наиболее обоснованным параметром, характеризующим состояние поверхностей стандартного (эталонного) образца и элемента конструкции, является высота микронеровностей, представляющих своего рода микроконцентраторы напряжений. Наиболее чувствительными к шероховатости поверхности являются высокопрочные стали ограниченной пластичности.

подавляющее большинство проводимых исследований посвящено изучению влияния шероховатости поверхности образцов или деталей на пределы неограниченной долговечности. Стремление улучшить технико-экономические показатели за счет интенсификации технологических и рабочих параметров (давлений, температур, агрессивности сред) ряда ответственных конструкций (кузнечных штампов, стволов стрелкового и артиллерийского оружия, энергетического оборудования) приводит к их ограниченной долговечности при эксплуатации. Вместе с тем исследований поверхностного фактора при ограниченной долговечности элементов конструкций выполнено недостаточно. В связи с этим в данной работе изучается влияние шероховатости поверхности на циклическую прочность, ограниченную долговечность и поверхностный фактор стали 4X5MΦC в условиях комнатной и повышенной (450 °C) температур.

*The quality of the surface layer is one of the main factors, together with the stress concentration and the scale effect, which determine the cyclic strength and durability of the structural elements. A significant influence on endurance is exerted by residual stresses that arise in the surface layers during machining. Unreasonable designation of processing modes leads to the appearance of large residual tensile stresses, surface microcracks, a significant decrease in cyclic strength.*

*The roughness of the surfaces of structural elements and standard samples used to determine the characteristics of the cyclic strength of materials, as a rule, differ from each other. The most reasonable parameter characterizing the state of the surfaces of a standard (reference) sample and a structural element is the height of microroughness, which is a sort of stress microconcentrator. High-strength steel of limited ductility is the most sensitive to surface roughness.*

*The overwhelming majority of the studies carried out is devoted to the study of the influence of the surface roughness of samples or details on the limits of unlimited durability. The desire to improve the technical and economic performance due to the intensification of technological and operational parameters (pressures, temperatures, aggressiveness of the media) of a number of critical structures (forging dies, gun barrels and artillery weapons, power equipment) leads to their limited service life. At the same time, studies of the surface factor with limited longevity of structural elements are not enough. In this connection, we study the influence of surface roughness on the cyclic strength, limited durability, and the surface factor of 4X5MΦC steel under conditions of room temperature and high temperature (450 °C).*

**Ключевые слова:** кузнечные штампы, шероховатость гравюры, оценка поверхностного фактора при комнатной и повышенной температурах.

**Keywords:** forging stamps, roughness of engraving, evaluation of the surface factor at room and elevated temperatures.

УДК 539.431: 621.743.43УДК 519.63, 004.942

DOI 10.22213/2410-9304-2018-2-28-40

**Исследование влияния величины начального зазора на динамику открывания предохранительного клапана (Study of the Influence of the Initial Clearance on the Dynamics of the Safety Valve Opening)**

*Т. Редер*, соискатель, ИЖГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*T. Raeder*, PhD Applicant, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*В. А. Тенев*, доктор физико-математических наук, профессор, ИЖГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*V. A. Tenenev*, DSc (Physics and Mathematics), Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*Н. В. Паклина*, ИЖГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*N. V. Paklina*, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

Задачей расчета предохранительных клапанов является определение пропускной способности, динамических усилий, возникающих при срабатывании предохранительного клапана. Для решения сопряженной задачи расчета динамического процесса работы предохранительного клапана применяются уравнения газодинамики и уравнения механического движения диска клапана. Примененный для решения сопряженной задачи динамики пружинного предохранительного клапана численный метод С. К. Годунова в осесимметричной постановке показал способность правильно рассчитывать величину газодинамической силы. На основе результатов проведенных испытаний предохранительного клапана и численных расчетов построена функция, являющаяся универсальной характеристикой рассматриваемого предохранительного клапана. Функция применяется при анализе динамических характеристик рабочего процесса при разных давлениях. На основе теоретического анализа получены соотношения, позволяющие определять кинематические характеристики для произвольного значения высоты подъема диска и задавать начальные условия для решения сопряженной задачи. Численное решение сопряженной задачи динамики предохранительного клапана подтвердило возможность задания требуемой величины начального зазора без потери точности расчетов.

*The task of safety valve calculation is to determine the throughput and the dynamic forces arising at actuation of the safety valve. To solve the adjoint problem of calculating the safety valve operation dynamics, the equations of gas dynamics and the equations of mechanical motion of the valve disc are applied. The numerical method of S. K. Godunov in axisymmetric setting used to solve the adjoint problem of the spring safety valve dynamics has proved the ability to correctly calculate the magnitude of gas dynamic force. Based on the results of safety valve tests and numerical calculations, a function has been constructed that is a universal characteristic of the safety valve in question. The function is used to analyze the dynamic characteristics of the operation process at different pressures. On basis of theoretical analysis some relations have been obtained allowing to determine kinematic characteristics at any disk lift value and to set the initial conditions for adjoint problem solution. The numerical solution of the adjoint problem of safety valve dynamics confirms the possibility of setting the required initial clearance without loss of calculation accuracy.*

**Ключевые слова:** предохранительный клапан, нестационарные газодинамические процессы, численные методы моделирования, сопряженная задача газодинамики и механики клапана.

**Keywords:** safety valve, nonstationary gas-dynamic processes, numerical simulation techniques, adjoint problem of gas dynamics and mechanics of valve.

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

УДК 681.518.5

DOI 10.22213/2410-9304-2018-2-41-47

### **Моделирование оптического канала связи телеметрической измерительной системы (Modeling of Optical Communication Channel of Telemetric Measuring System)**

*В. А. Куликов*, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*V. A. Kulikov*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*В. Н. Сяктерев*, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*V. N. Syakterev*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*В. В. Сяктерева*, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*V. V. Syaktereva*, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*В работе предложены модели оптического канала связи телеметрической измерительной системы, предназначенной для измерения температуры поршня работающего двигателя.*

ля внутреннего сгорания. Канал связи реализован между первичными и промежуточным преобразователями, устанавливаемыми на поршне и стационарными блоками приема и обработки измерительной информации системы, расположенными за пределами двигателя. Канал включает излучатель, фотоприемник и схему восстановления амплитуды импульсных информационных сигналов. Модели канала связи представлены в среде Micro-Cap и реализованы на идеальных и реальных активных элементах (операционном усилителе и компараторе напряжения). Исследования переходных процессов на моделях в режиме анализа Transient программы Micro-Cap при передаче информации в длительности оптических импульсов показали, что в канале связи допускается модуляция амплитуды оптических импульсов до 30 дБ при погрешности передачи не более 1 % в диапазоне частот оборотов двигателя от 10 до 100 Гц и длительности импульсов от 10 мкс до 1 мс. Моделируемый канал может быть использован в реальных телеметрических системах измерения температуры и других физических параметров двигателей внутреннего сгорания в процессе их экспериментальных исследований и доводки.

*In this paper we propose models of optical communication channel of telemetric measuring system intended for piston thermometry of the running engine of internal combustion. The communication channel is realized between primary and intermediate transducers installed on the piston and the static package for receiving and processing of measuring information of system located outside the engine. The channel turns on the radiator, the photodetector and the scheme of restitution of amplitude of pulse informational signals. Models of a communication channel are presented in the environment of Micro-Cap and realized on ideal and real fissile elements (an operational amplifier and the comparator of tension). Researches of transition processes on models in the mode of the analysis Transient of the Micro-Cap program at information transfer in duration of optical impulses showed that in a communication channel modulation of amplitude of optical impulses up to 30 dB at a transfer error is allowed at no more than 1% error in a frequency range of engine speed from 10 to 100 Hz and duration of impulses from 10 microseconds to 1 ms. The modelled channel can be used in actual telemetering systems of thermometry and other physical properties of internal combustion engines in the course of their pilot studies and operational development.*

**Ключевые слова:** телеметрическая измерительная система, оптический канал связи, модуляция амплитуды импульсных сигналов, моделирование канала связи.

**Keywords:** telemetric measuring system, optical communication channel, modulation of amplitude of optical impulses, model operation of a communication channel.

УДК 621.385.833

DOI 10.22213/2410-9304-2018-2-48-55

### **Особенности применения приводов сближения при использовании туннельного микроскопа для технологического контроля поверхности (Features of the Application of Approach Actuators when Using Tunneling Microscope for Technological Surface Control)**

*П. В. Гуляев*, кандидат технических наук, Институт механики УдмФИЦ УрО РАН, Ижевск, Россия (*P. V. Gulyaev*, PhD in Engineering, Senior researcher, Mechanics Institute UdmFRC UB RAS, Izhevsk, Russia)

*Ю. К. Шелковников*, доктор технических наук, Институт механики УдмФИЦ УрО РАН, Ижевск, Россия (*Yu. K. Shelkovnikov*, DSc in Engineering, Prof., Mechanics Institute UdmFRC UB RAS, Izhevsk, Russia)

*А. И. Кириллов*, Институт механики УдмФИЦ УрО РАН, Ижевск, Россия (*A. I. Kirillov*, Junior researcher, Institute of Mechanics UdmFRC UB RAS, Izhevsk, Russia)

*К. С. Ермолин*, Институт механики УдмФИЦ УрО РАН, Ижевск, Россия (*K. S. Ermolin*, Junior researcher, Institute of Mechanics UdmFRC UB RAS, Izhevsk, Russia)

*В статье рассмотрены особенности использования шаговых пьезоэлектрических приводов в условиях интенсификации процессов сближения образца и зондирующего острия сканирующего туннельного микроскопа при контроле поверхности образца. Показано, что попеременное включение и выключение привода сближения и цепи обратной связи в туннельном микроскопе позволяет использовать относительно высокие скорости шагового пьезо-*

электрического привода, сохранить зондирующее острие измерительной иглы в процессе сближения и увеличить коэффициент использования цепи обратной связи. Кроме того, установлено, что выключение привода позволяет снизить уровень помех при работе обратной связи. Описана конструкция механической муфты с держателем образца, обеспечивающая сопряжение подвижной части привода с держателем и разрыв механической связи после завершения сближения с целью устранения влияния тепловых дрейфов. Описан основной алгоритм управления приводом сближения, состоящий из повторяющихся процедур: формирование управляющих импульсов для шагового пьезоэлектрического привода; включение цепи обратной связи и проверка наличия туннельного тока. Представлены особенности алгоритма управления приводом сближения в завершающей стадии, позволяющего разомкнуть механическую связь подвижной части привода с держателем образца и удерживать сканер в середине динамического диапазона.

*The paper considers the usage of stepper piezoelectric actuators in the conditions of intensification of tip-sample approach in the scanning tunneling microscope, intended for sample surface control. It is shown that the alternate activation and deactivation of the approach actuator and the tunneling microscope feedback allows: to use the relatively high speeds of the stepper piezoelectric actuator, to keep the probe tip safe during the approach and to increase the utilization factor of the feedback. Furthermore, it was found that switching off the actuator allows to reduce the feedback noise level. The design of a mechanical coupling with a sample holder is described, which allows actuator movable part to contact with the holder and to break the mechanical connection after the approach is completed to eliminate the influence of thermal drifts. The main control algorithm for the approach actuator is described, consisting of repetitive procedures: generation of control pulses for stepper piezoelectric actuator; feedback loop switching on and check of tunneling current presence. Features of the approach control algorithm in the final stage are presented, which allows to break the mechanical connection of actuator movable part and the sample holder and to keep the scanner in the middle of the dynamic range.*

**Ключевые слова:** сканирующий туннельный микроскоп, шаговый пьезоэлектрический привод, зондирующее острие, цифровая обратная связь, прецизионные перемещения.

**Keywords:** scanning tunneling microscope, stepper piezoelectric actuators, probe tip, digital feedback, precision movements.

УДК 004.7

DOI 10.22213/2410-9304-2018-2-56-61

### **Интеграционные связи выпуска навигационных стелек как проявление эффекта синергизма (Integration Links of the Release of Navigation Insoles as a Manifestation of the Effect of Synergy)**

*А. А. Данилова*, старший преподаватель, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*A. A. Danilova*, Senior teacher, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*А. И. Яковлева*, студентка, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*A. I. Yakovleva*, Student, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*В статье ставится задача необходимости внедрения интеграционных связей в производство навигационных стелек, что является серьезным шагом для облегчения жизни людей, страдающих от заболевания Альцгеймера или же помощи родителям для осведомленности о передвижениях ребенка. Значительная роль данной разработки обусловлена ее практическим применением, позволяющим отследить местонахождение человека с использованием GPS-маяка и передать информацию об истории передвижений в приложение смартфона. Рассмотрены положительные стороны от использования синергетического эффекта в процессе создания продукта. Функциональная и стратегическая возможности позволяют достичь максимальный синергетический эффект. Эффект интеграции представляется эффектами синергии объединения функциональных компонентов стельки. Известны различные классификации факторов, определяющих величину эффекта от синергии. В качестве*

критериев отбора эффективного внедрения в разработку и выпуск навигационных стелек на основе оценки величины эффекта синергии определены: количественные (величина эффекта синергии от потенциального выпуска продукции) и качественные критерии (многообразие форм проявления эффекта синергии). Таким образом, интегрированное взаимодействие способно обеспечить высокий синергетический эффект, величина которого от совместной деятельности больше, чем сумма эффектов отдельных характеристик деятельности.

*The paper poses the problem of the need to introduce integration links into the production of navigation insoles, which is a serious step to alleviate the lives of people suffering from Alzheimer's disease or to help parents to know about the movements of the child. The significant role of this development is due to its practical application, which allows tracking the location of a person using a GPS beacon and relaying information about the history of movement to the smartphone application. Positive aspects of using the synergistic effect in the process of product creation are considered. Functional and strategic capabilities make it possible to achieve the maximum synergistic effect. The effect of integration seems to be the synergy effects of combining the functional components of the insole. There are various classifications of factors that determine the magnitude of the effect from synergy. As criteria for selecting effective implementation in the development and production of navigation insoles on the basis of an estimate of the magnitude of the synergy effect, quantitative (the magnitude of the synergy effect from potential output) and qualitative criteria (the variety of forms of the synergy effect) are determined. Thus, integrated interaction can provide a high synergetic effect, the magnitude of which from joint activity is greater than the sum of the effects of individual performance characteristics.*

**Ключевые слова:** навигационные стельки, GPS-маяк, потенциальный синергизм, оценка эффективности, интегральная оценка, синергизм, эффект интеграции.

**Keywords:** Navigation insole, GPS beacon, potential synergies, effectiveness evaluation, integral evaluation, synergy effect of integration.

УДК 623.593; 681.31; 004.021

DOI 10.22213/2410-9304-2018-2-62-68

### **Оптимизация расположения акустических датчиков в плоскости электронной мишени (Optimization of the Arrangement of acoustic Sensors in the Plane of the Electronic Target)**

*С. Ф. Егоров*, кандидат технических наук, доцент, Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*S. F. Egorov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Udmurt Federal Research Center (Institute of Mechanics) UB RAS, Izhevsk, Russia)

*Приведены результаты оптимизации количества и расположения акустических датчиков в плоскости регистрации электронных сверхзвуковых акустических мишеней для стрелкового оружия по критерию невырождаемости математических моделей. Электронные акустические мишени широко используются для испытания и диагностики стрелкового и артиллерийского оружия на предприятиях ОПК. Разработанное программное обеспечение позволяет исследовать пересечения «особых прямых» от каждой пары датчиков в плоскости мишени (где возможно вырождение математической модели) и находить оптимальную конструкцию пытаясь вывести «особые точки» за пределы зоны регистрации. Исследованы рамы мишени типа прямоугольник, параллелограмм, «корона», полукруг и полуэллипс.*

*Сделан вывод, что оптимизация расположения датчиков на полукруглой раме на непропорциональных расстояниях друг от друга позволяет обеспечить невырождаемость математической модели при использовании всего лишь одного дополнительного акустического датчика. Хотя такая конструкция и снижает технологичность изготовления и монтажа мишени, но повышает ее помехозащищенность.*

*Results of optimization of quantity and layout of acoustic sensors are given in the plane of registration of electronic hyperacoustic acoustic targets for small arms by criterion of not degeneracy of*



*mathematical models. Electronic acoustic targets are widely used for test and diagnostics of small and artillery arms on defense industry enterprises. The developed software allows to research intersections of "special straight lines" from each pair of sensors in the target plane (where degeneration of a mathematical model is possible) and to find optimum construction trying to remove "special points" out of borders of the check-in area. Target frames like rectangle, a parallelogram, "crown", a semicircle and a semi-ellipse are probed.*

*The conclusion is drawn that optimization of layout of sensors on a semicircular frame at disproportionate distances from each other allows to provide not degeneracy of a mathematical model when using only one additional acoustic sensor. Though such construction also reduces technological effectiveness of manufacture and mounting of a target, but increases its interference free feature.*

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

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

УДК 531.383, 534.08, 519.876

DOI 10.22213/2410-9304-2018-2-69-77

### **Модель определения дефекта разносторонности твердотельного волнового гироскопа (Model of Determination of Defect Difference in Q-Factor of a Solid-State Wave Gyroscope)**

*Р. В. Мельников, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (R. V. Melnikov, Master's Degree Student, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)*

*Г. А. Трутнев, соискатель, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (G. A. Trutnev, PhD Applicant, KalashnikovISTU, Izhevsk, Russia)*

*А. В. Щенятский, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (A. V. Shchenyatskiy, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)*

*Рассматривается чувствительный элемент, его геометрические особенности и погрешности, влияющие на тактико-технические характеристики изделия.*

*Проведен анализ, который показал, что основной вклад в собственный уход угла вносят такие погрешности, как упруго-массовые дефекты кварцевого резонатора, неточность сборки конструкции, ошибки в системе съемки и управления, геометрические погрешности резонатора.*

*Оценено влияние таких погрешностей, как разночастотность и разносторонность на окончательные характеристики навигационного прибора.*

*Твердотельный волновой гироскоп является сложной измерительной системой [1], в его состав входит управляющая компонента, которая уменьшает влияние некоторых неидеальностей прибора. Актуальной задачей является совершенствование управляющей компоненты и повышение точности всей измерительной системы.*

*Перспективным направлением является применение адаптивных систем автоматического управления, поскольку существует необходимость индивидуально подстраиваться под каждый чувствительный элемент: настраивать резонансную частоту чувствительного элемента, выполнять захват собственной частоты колебаний, формировать сигналы рассогласования амплитуды колебаний и т. д. При изменении массогабаритных параметров резонатора, играющих важную роль в измерительном тракте прибора, необходимо проводить изменение параметров системы управления, что увеличивает временные и трудовые затраты.*

*Для повышения эффективности отработки системы автоматического управления, сокращения времени доведения прибора до требуемого уровня качества необходимо разработать математическую модель системы управления. Рассматривается идеальное осесимметричное тело, жестко заземленное за ножку резонатора. В данной статье рассматривается модель контура автоматического подавления разносторонности для нуль-нулевой системы управления твердотельного волнового гироскопа [2]. Сделано предположение о возможности применения результатов имитационного моделирования для дальнейшей реализации контура подавления разносторонности в составе навигационного блока.*

*The sensor element, its geometric features and errors affecting the tactical and technical characteristics of the product are considered. An analysis has been carried out which showed that the main contribution to the angle's own departure is made by such errors as: elastic-mass defects of the quartz resonator, inaccuracy in the assembly of the structure, errors in the survey and control system, and geometric errors in the resonator. The influence of such errors as different frequency and difference in  $Q$ -factor on the final characteristics of the navigation device is estimated. The solid-state wave gyroscope is a complex measuring system; it includes a control component that reduces the influence of some non-ideals of the device. The actual task is to improve the control component and improve the accuracy of the entire measuring system. A promising direction is the use of adaptive automatic control systems, since there is a need to individually adjust to each sensing element: adjust the resonant frequency of the sensing element, perform the capture of the natural oscillation frequency, generate mismatch signals of the amplitude of the oscillations.*

*When changing the mass-size parameters of the resonator, which play an important role in the measuring path of the device, it is necessary to change the parameters of the control system, which increases the time and labor costs.*

*To improve the efficiency of the automatic control system, reduce the time to bring the device to the required level of quality, it is necessary to develop a mathematical model of the control system. We consider an ideal axisymmetric body rigidly clamped by the resonator leg. In this paper, we consider a model of the contour of automatic suppression of difference in  $Q$ -factor for the push-pull control system of a solid-state wave gyroscope.*

*The assumption is made about the possibility of applying the results of simulation modeling for the further implementation of the contour of suppression difference in  $Q$ -factor in the composition of the navigation block.*

**Ключевые слова:** твердотельный волновой гироскоп, кварцевый резонатор, математическая модель, колебания, дрейф, добротность, разнодобротность, система управления.

**Keywords:** Solid-state wave gyroscope, quartz resonator, mathematical model, vibration, drift,  $Q$ -factor, difference in  $Q$ -factor, control system.

УДК 620.179.16

DOI 10.22213/2410-9304-2018-2-78-83

### **Моделирование напряженно-деформированного состояния дифференцированно термоупрочненных рельсов (Strain Stress Modeling of Differential Hardening Rails)**

*К. А. Тарков*, аспирант, ИЖГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*К. А. Tarikov*, Post-graduate, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*Одной из наиболее часто встречающихся причин разрушения рельсов является высокое значение остаточных напряжений. В процессе производства рельсов остаточные напряжения могут возникать в процессе прокатки, термообработки, правки и рихтовки. В настоящее время приемо-сдаточные испытания включают в себя контроль по измерению расхождения паза рельса после прорезания шейки рельса на глубину 600 мм, а также измерение остаточных напряжений в подошве рельса до и после вырезки темплета с наклеенным тензодатчиком.*

*В данной работе рассмотрен вопрос о связи значений расхождения паза и напряжения в подошве с остаточными напряжениями в отдельных элементах рельса, полученных методом акустической тензометрии. Для выявления данной зависимости было выполнено разрезание рельса на отдельные элементы (головка, шейка, подошва), после чего в каждом элементе было проведено измерение напряжений методом акустической тензометрии. Моделирование проводилось методом конечных элементов в программной среде Comsol Multiphysics. По результатам моделирования и экспериментальных исследований предлагается браковочный критерий для контроля остаточных напряжений в случае прозвучивания сечения рельса со стороны поверхности катания: полученные значения сжимающих напряжений должны находиться в пределах  $\sigma_{int} = -52 \dots -80$  МПа.*

*The most common reason of rail destruction is the high level of residual stresses. These stresses appear during the process of rolling, hardening and deformation after straightening. Nowadays rail control consists of measurements of the discrepancy of the rail after making the housing, and measurements of residual stresses in the bottom of the rail with resistive-strain sensor.*

*In the paper you can read about the correlation of the discrepancy of the housing and residual stresses in the bottom of the rail with residual stresses in each element of rail (top, web, bottom). For searching correlation the rail was reassembled to these elements, after that residual stresses were measured by acoustoelastic method. Modeling process took place in COMSOL Multiphysics program. According to experimental and modeling results, the criteria of rejection is proposed: residual stresses have to be in the range of -52 MPa to -80 MPa in case of measurements by acoustoelastic method from the top of the rail.*

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, акустоупругость, рельс, напряженно-деформированное состояние, моделирование, остаточные напряжения.

**Keywords:** non-destructive testing, acoustoelasticity, rail, stress-strain state, modeling, residual stresses.

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.942; 519.876.5

DOI 10.22213/2410-9304-2018-2-84-96

### **Системный анализ показателей исходной воды при производстве питьевой воды в системе центрального водоснабжения (System Analysis of Source Water Indicators at Drinking Water Production in the Central Water Supply System)**

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

*А. А. Бас*, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*A. A. Bass*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*М. М. Горохов*, доктор физико-математических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*M. M. Gorokhov*, DSc (Physics and Mathematics), Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*Д. С. Пономарев*, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*D. S. Ponomarev*, Post-graduate, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*Работа посвящена системному анализу данных показателей исходной воды при производстве питьевой воды в системе центрального водоснабжения крупного населенного пункта. На сегодняшний день на фоне увеличивающегося негативного антропогенного воздействия на окружающую среду наблюдается ухудшение состояния многих источников питьевого водоснабжения в широком спектре показателей, в частности, таких как органолептические свойства воды. Как следствие, возникает проблема и для питьевой воды. В работе приводится процесс подготовки данных о параметрах исходной воды, забираемой из водохранилища, которые ежемесячно (с 2002 по 2014 год) учитывались на предприятии при дезодорации воды. Приведенные параметры оказывают существенное влияние на органолептические свойства конечной воды. Подготовка данных для анализа проводится методом главных компонент К. Пирсона. Данные, полученные в пространстве  $R^9$ , переводятся в пространство меньшей размерности  $R^3$ . Понижение размерности позволяет снизить автокорреляцию между компонентами. Отбор компонент в пространство  $R^3$  проводится по правилу Парето. В пространстве  $R^3$  методом сферической кластеризации данных «Форель» с постоянным радиусом группировки проводится кластеризация. Приводится пошаговое визуальное представление алгоритма кластеризации в пространстве  $R^3$ . В работе показано, что в данных показателях качества исходной воды имеются кластеры. Проводится корреляционно-регрессионный анализ*

данных, представленных в главных компонентах. Строятся регрессионные зависимости показателей органолептических свойств от главных компонент из пространства  $R^3$ .

*The work is devoted to the system analysis of the given indicators of source water at the production of drinking water in the central water supply system of a large settlement. Today, within increasing negative anthropogenic impact on the environment, there is a deterioration in the state of many sources of drinking water supply in a wide range of indicators, in particular, such as organoleptic properties of water. As a consequence, there is a problem for drinking water. The paper presents the process of preparing data on the parameters of the source water taken from the reservoir, which were taken into account monthly at the enterprise (from 2002 to 2014) at the water deodorization plant. The above parameters have a significant effect on the organoleptic properties of the final water. Preparation of data for analysis is carried out by K. Pearson's principal components analysis. The data obtained in the space  $R^9$  is transferred to a space of lower dimension  $R^3$ . Dimension reduction allows to reduce autocorrelation between components. Selection of components in the space  $R^3$  is carried out according to the Pareto rule. Clustering is carried out in the space  $R^3$  by the method of spherical clustering of the "Trout" data with a constant clustering radius. A step-by-step visual representation of the clustering algorithm in the space  $R^3$  is presented. It is shown that there are clusters in these indicators of the quality of the initial water. Correlation-regression analysis of the data presented in the main components is carried out. Regression dependences of the indicators of organoleptic properties on the main components from the space  $R^3$  are shown.*

**Ключевые слова:** производство питьевой воды, метод главных компонент, кластеризация, регрессия, визуализация.

**Keywords:** production of drinking water, principal component analysis, clustering, regression, visualization.

УДК 004.42:636.084.41

DOI 10.22213/2410-9304-2018-2-97-104

### **Разработка информационной системы оптимизации рационов кормления животных (Development of Information System for Optimization of Cattle Rations)**

*Р. М. Гараев*, студент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*R. M. Garaev*, student, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*В. В. Ковалевский*, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН, Ижевск, Россия (*V. V. Kovalevsky*, PhD in Agriculture, Udmurt Federal Research Center UB RAS, Izhevsk, Russia)

*С. В. Вологдин*, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*S. V. Vologdin*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*Данное исследование направлено на решение важной проблемы сельскохозяйственного производства и животноводства, в частности – оптимизация рационов крупного рогатого скота для повышения продуктивности и уменьшения затрат предприятия. Использование информационных систем при составлении рациона поможет ускорить сам процесс составления и сократит до минимума стандартные ошибки, допускаемые специалистом зоотехником, что благоприятно повлияет на качество и количество получаемой продукции. Были проведены исследования существующих информационных систем оптимизации рационов животных, выявлены их недостатки. Для формирования требований и оценки существующих систем выбрана модель качества ISO 9126. Разработана математическая модель задачи оптимизации рационов корма животных на основе задачи линейного программирования, которая заключается в минимизации целевой функции по стоимости составляемого рациона с ограничениями по показателям общей питательности. В основе разрабатываемого прототипа приложения заложена функциональная модель, разработанная с использованием методологии IDEF0, которая определяет основные функции системы: обработка запросов пользователя и предоставление необходимой информации по кормам и нормам животных; создание рационов для животных по заданным параметрам; пересчет рациона с учетом изменений, внесенных пользователем; анализ рациона и предоставление рекоменда-*

даций по его оптимизации. Описано взаимодействие подключаемых библиотек. Описаны методы разработки алгоритмов взаимодействия с пользователем. Для создания интерфейса выбраны способы проектирования – «Ориентированное на пользователя проектирование» и «Человекоориентированное проектирование». Таким образом, при реализации задач данного исследования будет решена проблема оптимизации рациона животных.

*This research is aimed at solving an important problem of agricultural production and livestock production in particular - optimization of rations of cattle to increase productivity and reduce the costs of the enterprise. The use of information systems in the compilation of a diet will help accelerate the process of compilation and minimize the standard errors allowed by a specialist in animal technician, which will have a positive effect on the quality and quantity of the products. Studies of existing information systems for optimizing animal rations have been carried out, and their shortcomings have been identified. To formulate requirements and evaluate existing systems, the ISO 9126 quality model has been selected. A mathematical model of methods for optimizing rations based on linear programming has been developed. The solution of the optimization problem of linear programming will be produced by the simplex method, whose task is to minimize the objective function at the cost of the composted diet and with a number of limitations on the indicators of general nutrition. At the heart of the developed prototype applications the functional model has been incorporated which is developed using the methodology of IDEF0, which defines the basic functions of the system: processing user requests and providing the necessary information on the feed and animal standards; creation of rations for animals according to the given parameters; recalculation of the ration taking into account the changes made by the user; analysis of the diet and providing recommendations for its optimization. The interaction of the connected libraries is described. Methods for developing algorithms for interaction with the user are described. To create an interface, the design methods are chosen - "User-oriented design" and "Human-oriented design". Thus, in the implementation of the tasks of this study, the problem of the rate of optimization of the diet will be solved.*

**Ключевые слова:** программное обеспечение, оценка качества, интерфейс пользователя, животноводство, кормление животных, составление рационов, IDEF0.

**Keywords:** software, quality assessment, user interface, livestock, animal feeding, rationing, IDEF0.

УДК 57.08 004.931

DOI 10.22213/2410-9304-2018-2-105-112

### **Информационные признаки для автоматизированной компьютерной классификации пыльцевых зерен (Information Features for the Computer Classification of Pollen Grains)**

Ю. Б. Камалова, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (Yu. B. Kamalova, Post-graduate, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

Г. В. Ломаев, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (G. V. Lomaev, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*В статье рассмотрены информационные признаки для компьютерной классификации пыльцевых зерен, а также проанализировано их морфологическое строение с рассмотрением геометрических признаков на разных уровнях. В качестве признаков для распознавания выявлены размеры (экваториальный диаметр и полярный радиус и др.), очертания, скульптура, апертура, текстура, полярность пыльцевых зерен. Приведен пример классификации пыльцевых зерен. Были найдены интервалы и количество растений, попадающих в данные интервалы по признакам, – экваториальному диаметру и полярному радиусу. Для экваториального диаметра было выявлено, что максимальное число растений (25 шт.) лежит в диапазоне от 40 до 50 мкм и т. д. По выявленным данным была построена таблица диапазонов экваториального диаметра и количества растений, попадающих в данный диапазон, и диаграмма. Было выявлено, что в диапазон значений полярного радиуса от 0 до 10 мкм не попало ни одного растения, в диапазон от 10 до 20 мкм попало 6 растений, от 20 до 30 мкм – 28 растений и т. д. По выявленным данным была построена таблица диапазонов полярного радиуса и количества растений, попадающих в данный диапазон, и диаграмма.*

*In this paper, information features for the computer classification of pollen grains are considered, and their morphological structure is analyzed with consideration of geometric features at different levels. The dimensions (equatorial diameter and polar radius, etc.), outlines, sculpture, aperture, texture, polarity of the pollen grains were revealed as recognition descriptors. The example of pollen grain classification is given. The intervals and the number of plants that fall within these intervals according to the characteristics (the equatorial diameter and the polar radius), were found. For the equatorial diameter, it was found that the maximum number of plants (25 pieces) lies in the range from 40 to 50  $\mu\text{m}$ , etc. According to the findings, a table of ranges of the equatorial diameter and the number of plants falling within the data range and a diagram were constructed.*

*It was found that no plants fell within the range of values of the polar radius from 0 to 10  $\mu\text{m}$ , 6 plants fell into the range from 10 to 20  $\mu\text{m}$ , from 28 to 20  $\mu\text{m}$  to 28  $\mu\text{m}$ , etc. Based on the data, a table of the ranges of the polar radius and the number of plants falling within the data range and a diagram were constructed.*

**Ключевые слова:** компьютерный пылевой анализ, пыльца растений, распознавание изображений, ботаническое происхождение меда, признаки пылевых зерен, компьютерная классификация пылевых зерен.

**Keywords:** computer pollen analysis, pollen of plants, image recognition, botanical origin of honey, pollen grains, computer classification of pollen grains.

УДК 004.932

DOI 10.22213/2410-9304-2018-2-113-120

### **Применение генетического алгоритма для оптимизации температурного режима помещений посредством регулирования балансировочных клапанов стояков (Application of the Genetic Algorithm for Optimizing the Room Temperature Regime through Balancing Valves of Risers)**

*А. П. Шуравин*, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*A. P. Shuravin*, Post-graduate, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*С. В. Вологдин*, доктор технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*S. V. Vologdin*, DSc in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*В статье обосновывается актуальность исследований алгоритмов оптимизации как для области науки об искусственном интеллекте, так и для решения различных прикладных задач. Поясняется необходимость решения задач оптимизации термодинамических режимов зданий. Температура воздуха в отапливаемых помещениях зависит от многих факторов, в частности от параметров ограждающих конструкций, параметров теплоносителя, окружающей среды, а также от сопротивлений балансировочных клапанов стояков отопления. Обосновывается необходимость регулирования гидравлического сопротивления ветвей многоконтурной системы отопления зданий при помощи регулировочных клапанов для устранения температурного дисбаланса помещений зданий. В статье приводится математическая постановка задачи оптимизации, а также два метода решения поставленной задачи: метод покоординатного поиска и генетический алгоритм. Приводится блок-схема генетического алгоритма, формулы вероятностей скрещивания и правила селекции. Представлены результаты эксперимента для этих методов оптимизации, включая графики изменения целевой функции по итерациям, сравнительную таблицу, объяснение результатов. В заключении сделан вывод о том, что генетический алгоритм показывает лучшие результаты оптимизации, чем метод покоординатного поиска, но имеет большую вычислительную стоимость. Предложена гипотеза для дальнейшего исследования.*

*The paper proves the relevance of the research of optimization algorithms for both the field of science on artificial intelligence and for solving various applied problems. The necessity of solving optimization problems of thermohydraulic buildings regimes is explained. The air temperature in the heated rooms depends on many factors, in particular on the parameters of the enclosing structures, the parameters of the coolant, the environment, and also the resistance of the balancing*

valves of the risers. The necessity of regulation of the hydraulic resistance of the nodes of a multi-circuit building heating system with the help of adjusting valves for eliminating the temperature imbalance of the building premises is substantiated. The paper presents a mathematical formulation of the optimization problem, as well as two methods for solving the problem posed: the coordinate search method and the genetic algorithm. A block diagram of the genetic algorithm, the probability formula for crossing, and the selection rules are given. The experimental results for these optimization methods are presented, including the graphs of the change of the objective function by iteration, the comparative table, the explanation of the results. Finally, the conclusion is drawn that the genetic algorithm shows better optimization results than the method of coordinate-wise search, but has a large computational cost. A hypothesis is proposed for further investigation.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, методы оптимизации, генетический алгоритм, метод покоординатного поиска, термогидравлический расчет.

**Keywords:** artificial intelligence, optimization methods, genetic algorithm, coordinate search method, thermohydraulic calculation.

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 532 + 622.276.1/4(73)

DOI 10.22213/2410-9304-2018-2-121-129

**Обобщенная математическая модель нелетучей нефти сетевой подход к разбиению области месторождения на модули (Generalized Mathematical Model of Non-Oil Petroleum. Part I. Network Approach to Dividing of the Area of Deposit on Modules)**

*С. В. Денисов*, кандидат технических наук, доцент, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия (*S. V. Denisov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia)

*В. Е. Лялин*, доктор технических наук, доктор геолого-минералогических наук, доктор экономических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*V. E. Lyalin*, DSc in Engineering, DSc in Mineralogy, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*А. Н. Краснов*, кандидат технических наук, доцент, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия (*A. N. Krasnov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia)

*А. А. Шушков*, кандидат технических наук, Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Ижевск, Россия (*A. A. Shushkov*, PhD in Engineering, Senior Researcher, Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia)

*Представлена процедура генерации модулей, отвечающих за базовые элементы, которые используются для описания расчетной области; применение данной процедуры для реализации модулей на примере обобщенной модели нелетучей нефти. Предложен новый подход к разбиению расчетной области месторождения, включающей в себя продуктивный пласт и наземное оборудование, для обеспечения более высокого уровня абстракции при декомпозиции пластовой системы. Формализована процедура генерации модулей, отвечающих за базовые элементы, которые используются для описания расчетной области; применение данной процедуры для реализации модулей на примере обобщенной модели нелетучей нефти. Для описания пласта, скважин и наземных объектов были предложены различные типы узлов и соединений. В зависимости от числа фаз разработаны соответствующие узлы.*

*В работе предложена обобщенная модель нелетучей нефти с внесенными допущениями, позволяющими достоверно решить задачу гидродинамического моделирования месторождений. Представлен сетевой подход к разбиению области месторождения, математическое описание модулей. Такой метод представляет собой сетевой подход к созданию симу-*

лятора месторождений и обеспечивает более высокий уровень стандартизации, чем классический способ.

*The paper presents a generalized model of non-volatile oil with introduced assumptions that make it possible to reliably solve the problem of hydrodynamic modeling of deposits. A network approach to the division of the field of the deposit and a mathematical description of the modules are presented. This method is a network approach to creating a simulator of deposits and provides a higher level of standardization than the classical method.*

*The procedure for generating modules responsible for the basic elements that are used to describe the calculation area is presented; the application of this procedure for the implementation of modules is described using the generalized non-volatile oil as an example. A new approach is proposed for the breakdown of the estimated area of the field, including the productive layer and ground equipment, to provide a higher level of abstraction in the decomposition of the reservoir system. To describe the formation, wells and ground objects, various types of assemblies and connections were proposed. Depending on the number of phases, the corresponding nodes have been developed.*

**Ключевые слова:** гидродинамическое моделирование, многофазная смесь, нелетучая нефть.

**Keywords:** hydrodynamic modeling, multiphase mixture, non-volatile oil.

УДК 532 + 622.276.1/4(73)

DOI 10.22213/2410-9304-2018-2-130-138

### **Математическая модель и численное представление уравнений совместного движения флюидов (Mathematical Model and Numerical Presentation of Equations for Joint Fluid Motion)**

*С. В. Денисов*, канд. техн. наук, доц., Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия (*S. V. Denisov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia)

*А. Н. Краснов*, кандидат технических наук, доцент, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия (*A. N. Krasnov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia)

*А. А. Шушков*, канд. техн. наук, Удмуртский федеральный исследовательский центр (Уральского отделения Российской академии наук, Ижевск, Россия (*A. A. Shushkov*, PhD in Engineering, Udmurt Federal Research Center, UB RAS, Izhevsk, Russia)

*Современный анализ системы разработки месторождений углеводородов и прогноз динамики добычи при различных условиях эксплуатации осуществляется с помощью математических моделей поведения продуктивного пласта, эффективное использование которых требует значительных вычислительных затрат. Неопределенность, связанная с характеристиками пласта и насыщающих его флюидов, приводит к необходимости предварительного гидродинамического исследования реакции пласта на изменение режима добычи (закачки) в скважинах.*

*Математическое моделирование многофазного потока в пористой среде, в значительной степени, все еще открытый вопрос. Основная трудность связана с его разномасштабной природой. Фактически, необходимо рассматривать многофазный поток как проблему со сложной физикой, т. е. когда разные процессы преобладают на разных масштабах. Подобное сложное поведение не желательно сводить к созданию упрощенных математических моделей, которые являются обобщением моделей, хорошо описывающих однофазный поток. Это особенно актуально для трехфазного потока, который традиционно моделировался путем непосредственного применения двухфазного описания.*

*Цель настоящей работы состоит в разработке универсального подхода к созданию программного комплекса для гидродинамического моделирования нефтяных месторождений, который далее будем просто называть симулятором. Такой метод представляет собой сетевой подход к созданию симулятора месторождений и обеспечивает более высокий уровень стан-*



дартизации, чем классический способ. Для решения поставленной задачи представлена математическая модель и численное представление уравнений совместного движения флюидов.

*A modern analysis of the hydrocarbon field development system and forecast of production dynamics under different operating conditions is carried out using mathematical models of reservoir behavior, the effective use of which requires significant computational costs. The uncertainty associated with the characteristics of the formation and its saturating fluids lead to the need for a preliminary hydrodynamic study of the formation's reaction to a change in the production (injection) regime in the wells.*

*Mathematical modeling of multiphase flow in a porous medium, to a large extent, is still an open question. The main difficulty is related to its diverse nature. In fact, it is necessary to consider a multiphase flow as a problem with complex physics, i.e., when different processes prevail on different scales. Such complex behavior is not desirable to reduce to the creation of simplified mathematical models, which are a generalization of models that describe a single-phase flow well. This is especially true for a three-phase flow, which was traditionally modeled by the direct application of a two-phase description.*

*The purpose of this paper is to develop a universal approach to the creation of a software package for the hydrodynamic modeling of oil fields, which we will simply call the simulator. This method is a network approach to creating a simulator of deposits and provides a higher level of standardization than the classical method. To solve this problem, we present a mathematical model and a numerical representation of the equations for the joint movement of fluids.*

**Ключевые слова:** гидродинамическое моделирование, многофазная смесь, нелетучая нефть.

**Keywords:** hydrodynamic modeling, multi-phase mixture, non-volatile oil.

УДК 502.17(470.53)

DOI 10.22213/2410-9304-2018-2-139-144

### **О концепции экологического развития Пермского края (About the Concept of Environmental Development of the Perm Region)**

*М. Б. Макарова*, магистрант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия (*M. B. Makarova*, Master's Degree Student, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia)

*М. А. Ярков*, магистрант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия (*M. A. Yarkov*, Master's Degree Student, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia)

*И. Г. Севастьянова*, доктор технических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия (*I. G. Sevastyanova*, DSc in Engineering, Professor, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia)

*В настоящее время одна из основных проблем развития общества заключается в противоречии между состоянием производительных сил и природных ресурсов. Неконтролируемое техногенное воздействие на окружающую среду ведет к разветвленным экологическим, эколого-экономическим и эколого-социальным негативным последствиям. Необходимость экологической оптимизации природопользования, обеспечивающего сохранение биосферы путем охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, является главным содержанием концепции охраны окружающей среды Пермского края. В статье рассмотрены основные положения, на которых базируется концепция экологической безопасности края по охране окружающей среды. Отмечено, что в крае имеются проблемы диспропорции между требованиями к качеству окружающей среды и антропогенным воздействием на естественные ресурсы. В связи с высокой концентрацией размещения на территории края химического, машиностроительного, топливно-энергетического, металлургического и лесопромышленного межотраслевых комплексов имеет место высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха и значительные объемы образования отходов производства. В промышленных центрах региона регистрируется наиболее низкий уровень продол-*

жизнелюбия жизни. Дано обоснование возможных вариантов координации мероприятий по обеспечению экологической безопасности территории края, наиболее эффективным из которых является программный подход к решению проблем. Описаны возможные значимые результаты, которые позволят рационально использовать природные богатства края с соблюдением природоохранных требований.

*At present, one of the main problems of the development of society is the contradiction between the state of the productive forces and natural resources. Uncontrolled man-made impact on the environment leads to branched ecological, ecological-economic and environmental-social negative consequences. The need for environmental optimization of nature management, which ensures the conservation of the biosphere by protecting the environment and rational use of natural resources, is the main content of the concept of environmental protection in Perm region. The paper considers the main provisions on which the concept of environmental security of the region is based on environmental protection. It is noted that in the province there are problems of a disproportion between the requirements for the quality of the environment and anthropogenic impact on natural resources. Due to the high concentration of chemical, machine-building, fuel-energy, metallurgical and timber industrial intersectoral complexes on the territory of the region, there is a high level of air pollution and significant amounts of waste production. In the industrial centers of the region, the lowest level of life expectancy is recorded. The rationale for possible options for coordination of measures to ensure environmental safety of the territory of the region is given, the most effective of which is a program approach to solving problems. Possible significant results are described that will allow rational use of the natural resources of the region in compliance with environmental requirements.*

**Ключевые слова:** экологическая оптимизация, окружающая среда, концепция охраны окружающей среды.

**Keywords:** environmental optimization, environment, concept of environmental protection.

УДК 621.311.25 (045)

DOI 10.22213/2410-9304-2018-2-145-156

### **Альтернативная солнечная энергетика: насущные проблемы и предлагаемые пути их решения (Alternative Solar Energy: Pressing Problems and Proposed Ways to Solve Them)**

*В. А. Стародубцева*, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*V. A. Starodubtseva*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*В. А. Орлов*, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*V. A. Orlov*, Master's Degree Student, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*М. В. Тюлькин*, ст. преподаватель, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*M. V. Tyulkin*, Senior Teacher, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*А. С. Мазитов*, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия (*A. S. Mazitov*, Master's Degree Student, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia)

*В работе установлено, что электрогенерирующий сектор экономики наносит ощутимый ущерб окружающей среде за счет выбросов в атмосферу углекислого газа. Как минимум 89 % выбросов, связанных с производством энергии, можно предотвратить, заменив традиционные источники энергии альтернативными, к которым относятся: ветроэнергетика, гелиоэнергетика, геотермальная энергетика, гидроэнергетика, космическая энергетика, биоэнергетика.*

*Проведенный анализ показал: отрасль гелиоэнергетики технически достаточно хорошо развита и широко используется не только за рубежом, но и в нашей стране. Правительство принимает все возможные решения для обеспечения развития альтернативной энергетики.*

*В статье рассмотрены задачи, стоящие перед гелиоэнергетикой: повышение энергоэффективности солнечных батарей, которая напрямую зависит от мощности самих панелей, а также от погодных условий (интенсивности солнечного света, температуры) и более эффективное использование действующих активов альтернативной энергетики.*

*Проблему перераспределения энергии между различного вида источниками можно решить посредством применения новых сервисов в энергетике, основанных на технологии распределенного реестра – технологии Blockchain. Применение технологии Blockchain помогает осуществлять контроль за потоками энергии, защитить систему контроля и учета за движением энергии от постороннего вмешательства, исключить возможность манипуляции данными отдельных участников энергопотребления и энергопроизводства в свою пользу.*

*Авторами предложены пути решения вышеперечисленных проблем гелиоэнергетики.*

*The paper describes that the power generating sector of the economy causes significant damage to the environment through the release of carbon dioxide into the atmosphere. At least 89% of emissions related to energy production can be prevented by replacing traditional energy sources with alternative ones, including wind energy, solar energy, geothermal energy, hydropower, space energy, bioenergy.*

*The analysis showed that the solar energy industry is technically well developed and widely used not only abroad, but also in our country. The government takes all possible decisions to ensure the development of alternative energy.*

*The problems of solar energy are considered in the paper: increasing the energy efficiency of solar cells, which directly depends on the power of the panels themselves, as well as on weather conditions (sunlight intensity, temperature) and more efficient use of existing alternative energy assets.*

*The problem of energy redistribution between different kinds of sources can be solved by applying new services in the energy sector, based on the technology of the distributed registry - Blockchain technology. The use of Blockchain technology allows to monitor the flow of energy, to protect the system of control and accounting for the movement of energy from outside interference, to exclude the possibility of manipulating the data of individual participants in energy consumption and energy production in their favor.*

*The authors suggest ways to solve the above problems of solar energy.*

**Ключевые слова:** альтернативная энергетика, гелиоэнергетика, солнечная панель, аккумуляторная батарея, микроконтроллер, блокчейн, умные электрические сети.

**Keywords:** alternative energy, solar energy, solar panel, battery, microcontroller, block, smart electric networks.