

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИК КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИХ СВЧ-УСТАНОВОК ЛУЧЕВОГО ТИПА НЕОГРАНИЧЕННОГО ОБЪЕМА**

**В.В. Захаров, И.И. Артюхов**

Важнейшими аспектами при проектировании электротермических СВЧ-установок лучевого типа неограниченного объема являются исследование согласования излучающей системы с объектом термообработки, определение показателей энергетической эффективности процесса СВЧ-нагрева, а также разработка мероприятий по ограничению опасного воздействия утечек СВЧ-излучения на обслуживающий персонал и окружающую среду. В связи с этим при разработке и оптимизации конструкций СВЧ-установок с применением конечно-элементного 3D моделирования необходимо использовать методики моделирования, учитывающие данные аспекты. В данной работе предложена методика конечно-элементного 3D моделирования процесса СВЧ-нагрева диэлектрика, реализованная в программном обеспечении COMSOL Multiphysics, основанная на применении идеально согласованных слоев, позволяющая учесть распространение СВЧ-излучения не только в объекте термообработки, но и в окружающем пространстве за пределы СВЧ-излучающей системы. На примере процесса СВЧ-термообработки грунта проведено сравнение предлагаемой методики с базовой методикой, реализованной в программном COMSOL Multiphysics.

Ключевые слова: СВЧ-нагрев, электротермическая СВЧ-установка лучевого типа неограниченного объема, рупорная антенна, излучающая система, конечно-элементное моделирование, идеально согласованный слой

## **IMPROVEMENT OF FINITE ELEMENT 3D MODELING METHODS FOR MICROWAVE RAY TYPE ELECTROTHERMAL INSTALLATIONS WITH UNLIMITED VOLUME**

**V.V. Zakharov, I.I. Artyukhov**

The key aspects in designing electrothermal ray type microwave installations of unlimited volume include the issues of matching the radiating system with the heat treatment object, defining the energy efficiency indicators of the microwave heating process, as well as the measures to limit the dangerous impact of microwave radiation leaks on the maintenance staff and environment. In this regard, when developing and optimizing the designs of microwave installations using finite element 3D modeling, it is necessary to use the modeling techniques with account to the given aspects. In this paper we propose a modeling technique implemented in the COMSOL Multiphysics software, based on the use of perfectly matched layers, which allows taking into account the propagation of microwave radiation not only in terms of heat treatment, but also terms of surrounding space beyond the microwave radiating system. Using the example of the process of microwave heat treatment of soil,

a comparison of the proposed method with the basic method implemented in the COMSOL Multiphysics software has been carried out.

**Keywords:** microwave heating, microwave ray type electrothermal installation with unlimited volume, horn antenna, radiating system, finite element modeling, perfectly matched layer

## **ИОННО-ПЛАЗМЕННОЕ НАНЕСЕНИЕ МИКРО- И НАНОТЕКСТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ТИТАНА НА ПОВЕРХНОСТИ КОЛЛЕКТОРНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ЛАМПЫ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ**

**Д.И. Кириченко, П.Д. Шалаев, Н.О. Шабунин, В.А. Царев**

Приведены результаты разработки технологического процесса ионно-плазменного нанесения титана на электроды коллектора лампы бегущей волны. Представлены фотографии полученных покрытий поверхности деталей коллектора. Поверхности покрытий имеют нано- и микроразмерные структуры. Покрытие из титана обеспечило снижение влияния вторичной электронной эмиссии на работу коллектора лампы бегущей волны. Приведены результаты экспериментальных исследований лампы бегущей волны с покрытыми титаном электродами коллектора. КПД лампы бегущей волны увеличилось на 1,8-2,5 % в рабочей полосе частот по сравнению с аналогами без титанового покрытия.

**Ключевые слова:** ионно-плазменное напыление титана, лампа бегущей волны, многосекционный коллектор, КПД

## **ION-PLASMA DEPOSITION OF TEXTURED TITANIUM COATINGS ON THE SURFACE OF COLLECTING ELECTRODES OF A TRAVELLING WAVE TUBE**

**D.I. Kirichenko, P.D. Shalaev, N.O. Shabunin, V.A. Tsarev**

The paper presents the results relating the development of the technological process of ion-plasma deposition of titanium on the electrodes of the TWT collector. The photos of the obtained surface coatings of collector parts are provided. The coating surfaces have nano- and micro-dimensional structures. The titanium coating provided a reduction in the effect of secondary electron emission on the operation of the TWT collector. The results of experimental studies of a TWT with titanium-coated collector electrodes are presented. The efficiency of the TWT increased by 1.8-2.5 % in the operating frequency band compared to the analogues without titanium coating.

**Keywords:** titanium ion-plasma sputtering, TWT, multi-section collector, efficiency

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРОВ И КОМПОЗИТОВ**

**О.А. Паршиков, М.В. Аврамов, В.В. Крылов,**

**М.А. Игнатьев, И.В. Злобина, Н.В. Бекренев**

Показана актуальность повышения физико-механических свойств объектов аддитивного производства из неметаллических, в том числе полимерных, композиционных материалов (ПКМ) путем применения воздействия на них в отвержденном состоянии электрофизических процессов. Рассмотрены вопросы замены резиновых уплотнительных колец газопроводов и газораспределительной аппаратуры на кольца из резиноподобных полимерных материалов, формируемые аддитивными методами, а также использования углетканых препрегов с истекшим сроком хранения для формирования изделий методом послойного ламинирования. Доказана возможность получения путем трехмерной печати изделий из указанных материалов, соответствующих по физико-механическим свойствам изделиям, полученным по традиционным технологиям. Выполнены исследования влияния СВЧ электромагнитного поля на прочность при разрыве и относительное удлинение уплотнительных колец из резиноподобного материала Flex, показавшие существенное повышение прочности при уменьшении более чем в 2 раза остаточной деформации при растяжении. Экспериментально доказана возможность формирования путем ультразвуковой сварки препрегов на эпоксидном связующем многослойного углепластика, превышающего по прочности материал, полученный методом прессования. Результаты исследования могут быть использованы в ремонтных импортозамещающих технологиях в газовой отрасли и для решения проблемы утилизации препрегов из ПКМ на термореактивном связующем путем их использования при изготовлении изделий транспортного и энергетического машиностроения.

Ключевые слова: аддитивные технологии FDM и LOM, резиноподобные филаменты, препреги на термореактивном связующем, модификация в СВЧ электромагнитном поле, ультразвуковая консолидация, уплотнительные элементы газопроводов, ламинированные изделия, армированные тканями на основе углеродных волокон

## **PROSPECTS FOR APPLICATION OF ELECTROPHYSICAL TECHNOLOGIES IN ADDITIVE MANUFACTURING OF POLYMER AND COMPOSITE PRODUCTS**

**O.A. Parshikov, M.V. Avramov, V.V. Krylov, M.A. Ignatiev, I.V. Zlobina, N.V. Bekrenev**

The paper considers the relevance of improving the physical and mechanical properties of additive manufacturing for objects from non-metallic and polymer composite materials (PCM) when induced to electrophysical processes in the solidified state. The issues relating replacement of rubber sealing rings of gas pipelines and gas distribution equipment for the rings made of rubber-like polymer materials formed by the additive methods, as well as the use of carbon-fiber prepregs with expired storage period to form products by layer-by-layer lamination are considered. A possibility to produce three-dimensional printing items from these materials, which correspond to the physical and mechanical

properties of the items produced by traditional technologies has been proved. A research into effects of the microwave electromagnetic field on the tensile strength and elongation of the sealing rings made of rubber-like Flex material has been performed, which showed a significant improvement in the strength with more than a two-fold reduction in residual tensile strain under tension. A possibility of forming a multilayer carbon fiber by ultrasonic welding of prepregs based on an epoxy binder, exceeding the strength of the material produced by pressing, has been experimentally proved. The results of the research can be used for the purposes of import-substituting technologies in the gas industry and to solve the problems of recycling prepregs from PCM on a thermosetting binder when using them in manufacturing transport and power engineering devices.

Keywords: additive technologies FDM and LOM, rubber-like filaments, prepregs on a thermosetting binder, modification in a microwave electromagnetic field, ultrasonic consolidation, sealing elements of gas pipelines, laminated products reinforced with carbon fiber-based fabrics

## **ЛАЗЕРНАЯ НАПЛАВКА ПОРОШКА ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT6 НА НЕРЖАВЕЮЩУЮ СТАЛЬ 08X18H10T ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ИЗЛУЧЕНИЯ**

**И.В. Родионов, П.Н. Устинов, И.В. Перинская, Л.Е. Куц**

Проведены экспериментальные исследования процесса лазерной наплавки присадочного материала в виде мелкодисперсного порошка титанового сплава VT6 на нержавеющую сталь 08X18H10T. Наплавка проводилась в импульсном режиме излучения при изменении широкого ряда параметров воздействия: напряжения на лампе накачки, мощности излучения, частоты и длительности импульсов, диаметра пятна фокусировки, шага следования импульсов, фокусного расстояния и количества проходов. Установлено влияние режимов лазерного импульсного излучения на толщину, фазовый и химический состав, шероховатость поверхности, морфологию и микротвердость наплавленного слоя. Выявлен эффект повышения прочности поверхности при порошковой наплавке сплава VT6 за счет образования высокотвердых оксидных фаз в виде диоксида  $TiO_2$  с кристаллографическими модификациями рутила и анатаза. Определено, что микротвердость поверхности наплавленного титанового сплава отличается от микротвердости, измеренной в объеме слоя, где значение данного показателя достигало 10,3 ГПа при наибольшем значении микротвердости поверхности 6,8 ГПа.

Ключевые слова: импульсная лазерная наплавка, порошок титанового сплава, нержавеющая сталь, микротвердость, шероховатость поверхности, структура наплавленного слоя

**LASER DEPOSITION OF TITANIUM ALLOY POWDER VT6 STAINLESS STEEL 08Kh18Ni10T UNDER PULSED RADIATION**

**I.V. Rodionov, P.N. Ustinov, I.V. Perinskaya, L.E. Kuts**

Experimental studies of the laser surfacing process of the filler material in the form of fine powder VT6 titanium alloy on 08X18H10T stainless steel were carried out. The surfacing was carried out in the pulsed radiation mode with a change in a wide range of exposure parameters, such as voltage on the pump lamp, radiation power, pulse frequency and duration, focus spot diameter, pulse pitch, focal length, and number of passes. Effect of laser pulse radiation modes on the thickness, phase and chemical composition, surface roughness, morphology and microhardness of the deposited layer is established. The effect of increasing the surface strength during powder deposition of the VT6 alloy was revealed due to formation of highly solid oxide phases in the form of TiO<sub>2</sub> dioxide with crystallographic modifications of rutile and anatase. It is determined that microhardness of the surface of the deposited titanium alloy differs from the microhardness measured in the layer volume, where the rate of this value reached 10.3 GPa at the highest surface microhardness value of 6.8 GPa.

Keywords: pulsed laser deposition, titanium alloy powder, stainless steel, microhardness, surface roughness, structure of deposited layer

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНДУКЦИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ СТАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ**

**П.А. Палканов, В.А. Кошуро, А.А. Фомин**

В данной работе приведены результаты численного моделирования индукционного нагрева инструментов из быстрорежущей инструментальной стали марки Р6М5 при химико-термической обработке (азотировании). Получены экспериментальные данные по процессу азотирования инструментов различной геометрии (сверло  $D = 8$  мм и вытяжной пуансон  $D = 14$  мм). Путем моделирования методом конечных элементов были рассчитаны температурные поля в системе «индуктор-камера-инструмент» в зависимости от тока индуктора и длительности процесса. Модели учитывали конструктивные особенности инструментов, расположение в активной области индуктора и необходимый диапазон термообработки внутри герметичной камеры в азотосодержащей среде. При решении краевых задач электродинамики и нестационарной теплопередачи было установлено влияние рабочего тока установки в диапазоне 300-360 А на поверхностную температуру изделий в течение 600 с обработки. Установлено, что при заданных электротехнологических параметрах индукционного нагрева согласно моделированию температура инструментов достигает 900-1100 °С, а при обработке в ходе эксперимента 950-1000 °С. Также в ходе проведения процесса обработки инструментов на их поверхности наблюдалось формирование упрочненных слоев с твердостью 14-16 ГПа.

Ключевые слова: быстрорежущая сталь, индукционный нагрев, азотирование, моделирование, динамика нагрева

## **NUMERICAL SIMULATION AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF INDUCTION NITRIDING OF STEEL TOOLS**

**P.A. Palkanov, V.A. Koshuro, A.A. Fomin**

This paper presents the results of numerical simulation of induction heating of tools made of P6M5 high-speed steel during the chemical and thermal treatment (nitriding). The experimental data on the nitriding process of tools of various geometries (drill  $D = 8$  mm and exhaust punch  $D = 14$  mm) were obtained. The temperature fields in the inductor-chamber-instrument system were calculated using the finite element modeling depending on the inductor current and duration of the process. The models take into account the design features of the instruments, location in the active region of the inductor and the required range of thermal treatment inside a sealed chamber in the nitrogen-containing medium. When solving the boundary-value problems of electrodynamics and non-stationary heat transfer, effect of the operating current of installation in the range of 300-360 A on the product-surface temperature in the course of 600 s of the processing is established. It has been found that according to the simulation procedure, at the specified electrotechnological parameters of induction heating the temperature of the tools reaches 900-1100 °C, while in the course of processing, it reaches 950-1000 °C. Also, when processing of tools, formation of hardened layers with the hardness of 14-16 GPa is observed on their surface.

Keywords: high-speed steel, induction heating, nitriding, modeling, heating dynamics

## **ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ПРОИЗВОДСТВЕ (ОБЗОР) 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ И ТИПЫ ЛАЗЕРОВ**

**С.К. Сперанский, И.В. Родионов**

В статье раскрыты теоретические основы генерации лазерного излучения. Рассмотрены трехуровневая и четырехуровневая схемы генерации лазерного излучения. Описаны энергетические уровни широко применяемых в промышленности лазеров. В краткой форме изложены принципы работы лазеров и приведены конструкции их основных разновидностей: газовых, твердотельных, полупроводниковых, волоконных. Приведены различные схемы накачки лазеров.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, инверсия, энергетические уровни, лазеры, система накачки

## **LASER TECHNOLOGY IN SCIENCE AND INDUSTRY PART 2: PHYSICAL FEATURES OF RADIATION GENERATION AND LASER TYPES**

**S.K. Speransky, I.V. Rodionov**

The article reveals theoretical foundations of laser radiation generation. Three-level and four-level laser radiation generation schemes are considered. The energy levels of lasers widely used for industrial purposes are described. Laser working principles are briefly described and designs of their main varieties are provided, including gas, solid-state, semiconductor, and fiber lasers. Various schemes for pumping the described lasers are presented.

Keywords: electromagnetic radiation, inversion, laser, energy levels, laser pumping

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ НАНО- И МИКРОЧАСТИЦ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА С ПОМОЩЬЮ СВЧ-ЭНЕРГОПОДВОДА**

**В.Ю. Кожевников, В.Д. Федотов**

Рассмотрена технология получения нано и микрочастиц оксида железа при СВЧ-воздействии на коллоидные растворы. Приведены результаты экспериментальных исследований, показавшие, что использование СВЧ-энергоподвода позволяет получать стабильные растворы железа с достаточно узким распределением наночастиц по размеру.

Ключевые слова: СВЧ-воздействие, нано- и микрочастицы, оксид железа, экспериментальное исследование, коллоидные растворы, технология, СВЧ-установка

## **EXPERIMENTAL STUDY OF THE PRODUCTION OF NANO- AND MICROPARTICLES OF IRON OXIDES USING MICROWAVE POWER SUPPLY**

**V.Yu. Kozhevnikov, V.D. Fedotov**

The technology for the synthesis of iron oxide nano- and microparticles under microwave-assisted impact on colloidal solutions is considered. The results of the experimental studies showed that the use of a microwave power supply can be applied in synthesizing stable iron solutions with a narrow size distribution of nanoparticles.

Keywords: microwave exposure, nano- and microparticles, iron oxide, experimental study, colloidal solutions, technology, microwave installation

## **УВЕЛИЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

**А.Г. Сошинов, О.С. Атрашенко, Т.В. Копейкина, О.О. Ахмедова**

Силовой трансформатор и его состояние являются одной из составных частей обеспечения надежности электросетевого комплекса. По мере перехода энергокомпаний на техническое обслуживание и ремонт оборудования по фактическому состоянию, различные методики диагностики, в особенности под

рабочим напряжением, получили широкое применение. Востребованность контроля также обусловлена большим процентом эксплуатируемого электрооборудования сверх нормативного срока. Для оценки силового трансформатора применяют методику интегрального показателя технического состояния, который включает в себе совокупность диагностических параметров на разных узлах трансформатора. Сведения о состоянии электрооборудования традиционно получают в ходе испытания узлов в ходе ремонтных работ, что требует отключения линии. В настоящее время развитие получили автоматизированный мониторинг и техническое диагностирование электрооборудование, что подтверждается рядом регламентирующих и нормативных документов электросетевых компаний. Предлагаемые производителями системы мониторинга отличаются значительным набором измеряемых параметров, многие из которых являются дополнительными, не входящими в перечень НТД. В России такие системы применены в качестве пилотных проектов в ходе реконструкции и строительстве объектов в ПАО «Россети Московский регион». Для усовершенствования методов прогнозирования и оптимизации работы электроэнергетической системы, логично использование методов искусственного интеллекта, которые имеют решающее значение для расширения когнитивных способностей человека в этих задачах. В мире метод опорных векторов (SVM), машины экстремального обучения (ELM), нечеткая логика и некоторые другие были объединены с методами интерпретации АРГ для анализа зарождающихся неисправностей в трансформаторах. Модели свёрточной нейронной сети активно используются для классификации неисправностей электрооборудования в ходе тепловизионной съемки трансформаторных подстанций. Использование сети YOLOv4 позволяет выполнить идентификацию 4 типов силового оборудования на подстанции с предварительной обработкой изображения (выявление фона, помех, вызванных экстремальными погодными условиями, шумом и другими факторами). Недостаточный обмен данными между эксплуатирующими компаниями России ведет к медленному внедрению методов искусственного интеллекта.

Ключевые слова: автоматизированная система мониторинга и диагностики, силовые трансформаторы, надёжность, электротехническое оборудование, машинный интеллект, большие данные

## **IMPROVING THE ACCURACY OF MONITORING TRANSFORMER PLANTS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES**

**A.G. Soshinov, O.S. Atrashenko, T.V. Kopeykina, O.O. Akhmedova**

The power transformer condition is one of the key elements ensuring reliability of the power grid. As power companies switch on to the current repair and maintenance system, various diagnostic techniques, particularly under operating voltage, have been widely used. The demand for monitoring is also stipulated by a large percentage of electrical equipment operating beyond the set time limit. To evaluate a power transformer, a methodology of an integral performance index of the technical condition is used, which includes

a set of diagnostic parameters applied for various units of the transformer. Information on the state of electrical equipment is commonly obtained in the course of testing the units while doing the repair work, which requires disconnection of the line. Currently, automated monitoring and technical diagnostics of electrical equipment is widely adopted, which is confirmed by a number of regulatory and normative documents used by electric grid companies. The monitoring systems proposed by the manufacturers are distinguished by a significant number of measurement parameters, most of which are additional and not included in the NTD list. In Russia, such systems have been used as pilot projects during the reconstruction and construction of facilities in PJSC Rosseti Moscow Region. To improve the forecasting and optimization methods required in the operation of the electric power system, it would be logical to use artificial intelligence methods, which are critical for expanding a person's cognitive abilities when solving these tasks. The global methods including the Support Vector Method (SVM), Extreme Learning Machines (ELM), fuzzy logic, and others have been combined with ARG interpretation methods used to analyze the incipient faults in transformers. Convolutional neural network models are frequently used for defect classification on electrical equipment of transformer substations using thermal imaging technology. Application of YOLOv4 network allows for identification of 4 types of power equipment of a substation using image pre-processing (detection of background, interference caused by extreme weather conditions, noise and other factors). Insufficient data exchange between the operating companies in Russia actually slows down introduction of artificial intelligence technologies.

Keywords: automated monitoring and diagnostics system, power transformers, reliability, electrical equipment, machine intelligence, big data

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ НА БЫСТРОДЕЙСТВИЕ И ЖЕСТКОСТЬ РАДИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОДШИПНИКОВ НАГНЕТАТЕЛЯ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО АГРЕГАТА**

**В.Д. Костюков, А.В. Стариков**

В статье поставлена задача определения ограничений на быстродействие и жесткость радиальных электромагнитных подшипников нагнетателя газоперекачивающего агрегата. Проведено аналитическое исследование влияния начального значения скорости перемещения ротора на устойчивость системы управления электромагнитного подшипника. Найдены граничные с позиции устойчивости значения начальной скорости перемещения в функции напряжения питания для конкретного типа нагнетателя газоперекачивающего агрегата и параметров настроек регуляторов. Проведено компьютерное моделирование радиального электромагнитного подшипника нагнетателя и показано, что максимальное значение скорости перемещения ротора в несколько раз меньше граничного значения. Определены динамическая

жесткость магнитной опоры и первая резонансная частота ротора нагнетателя. Показано, что для рассматриваемого газоперекачивающего агрегата имеется резерв для повышения быстродействия и динамической жесткости электромагнитного подшипника.

Ключевые слова: электромагнитный подшипник, устойчивость, быстродействие, жесткость

## **DEFINING THE LIMITS ON SPEED AND STIFFNESS OF RADIAL ELECTROMAGNETIC BEARINGS IN THE SUPERCHARGER OF A GAS PUMPING UNIT**

**V.D. Kostyukov, A.V. Starikov**

The article aims to determine the limits on speed and rigidity of radial electromagnetic bearings in the supercharger of a gas pumping unit. Analytical studies of the influence of initial value of the rotor dynamics on stability and control quality of an electromagnetic bearing system are carried out. The boundary values relating stability of initial dynamics as a function of voltage supply for a specific type of a supercharger of a gas pumping unit and the regulator setting parameters have been determined. Computer simulation of the supercharger of the radial electromagnetic bearing is carried out. It is shown that the maximum value of the rotor dynamics is several times lower than the limit value. The dynamic stiffness of the magnetic support and the primary resonance frequency of the supercharger rotor are determined. It is shown that the considered gas pumping unit is provided with a reserve for increasing the speed and dynamic stiffness of the electromagnetic bearing.

Keywords: electromagnetic bearing, stability, response speed, rigidity

## **АЛГОРИТМ РАЦИОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СОСТАВОМ АГРЕГАТОВ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПРИ ВТОРИЧНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ ЧАСТОТЫ И МОЩНОСТИ**

**М.Е. Усков**

В статье рассматривается система рационального управления составом и степенью загрузки гидроагрегатами гидроэлектростанции. Представлена структурно-алгоритмическая схема рационального управления составом агрегатов гидроэлектростанции, подключенной к центральной координирующей системе автоматического вторичного регулирования частоты и мощности.

Ключевые слова: рациональное управление составом агрегатов, автоматическое вторичное регулирование частоты и мощности

## **AN ALGORITHM FOR A RATIONAL CONTROL SYSTEM OF HYDROELECTRIC POWER PLANTS UNDER SECONDARY FREQUENCY AND CAPACITY REGULATION**

**M.E. Uskov**

The paper considers a system of rational control of the composition and loading degree of hydroelectric units at hydropower stations. The article

presents the structure and algorithm for rational control of hydropower plant units connected to the central coordinating system for automated secondary frequency and capacity regulation.

Keywords: rational control of unit composition, automated secondary frequency and capacity regulation