

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕДЛЕННЫХ ВОЛН В ПРЯМОУГОЛЬНОМ ВОЛНОВОДЕ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНОЙ В Е-ПЛОСКОСТИ У БОКОВОЙ СТЕНКИ ВОЛНОВОДА

В.А. Коломейцев, Д.А. Баринов, П.В. Ковряков, Ю.А. Кузьмин

На основе аналитического решения внутренней краевой задачи электродинамики, полученного при использовании продольной Х-поляризации электромагнитного поля, определены собственные электродинамические параметры прямоугольного волновода с диэлектрической пластиной в Е-плоскости. Рассмотрены режимы распространения быстрых и медленных волн. Показано, что в диапазоне распространения медленных волн ($c/v_{cp} < 1$) наблюдается трансформация электромагнитного поля, при которой электрическое поле в менее плотной среде (воздушная среда) стягивается к поверхности более плотной среды (диэлектрическая пластина), что приводит к увеличению энергии волны, распространяющейся в пластине, и интенсификации её нагрева. При этом при уменьшении рабочей длины волны данный эффект усиливается. Приведены результаты расчета длины волны $\lambda_{пер}$, на которой происходит переход быстрой волны в медленную, а также длины волны $\lambda_{тр}$, на которой начинается трансформация электромагнитного поля. Показано, что для невырожденных типов волн $\lambda_{тр} = \lambda_{пер}$, а для вырожденных типов волн $\lambda_{тр} \neq \lambda_{пер}$. Полученные результаты могут быть использованы для интенсификации процесса нагрева листовых диэлектрических материалов в СВЧ-устройствах конвейерного типа.

Ключевые слова: внутренняя краевая задача электродинамики, волновое уравнение Гельмгольца, электромагнитное поле, принцип поляризационной двойственности, принцип суперпозиции и ортогональности, Е- и Н-типы волн, прямоугольный волновод, граничные и начальные условия, быстрые и медленные волны, критические длины волн, продольная поляризация электромагнитного поля, векторы напряженности электрического и магнитного поля

ANALYTICAL METHODS FOR ELECTRODYNAMIC EIGENVALUE DETERMINATION OF SLOW WAVES IN A RECTANGULAR WAVEGUIDE WITH A DIELECTRIC PLATE IN THE E-PLANE OF THE LATERAL WAVEGUIDE WALL

V.A. Kolomeytssev, D.A. Barinov, P.V. Kovryakov, Yu.A. Kuzmin

Electrodynamical eigenvalues of a rectangular waveguide with a dielectric plate in the E-plane are determined based on analytical solution to the interior boundary-value problem of electrodynamics obtained using the longitudinal X-polarization of the electromagnetic field. The propagation modes of the fast and slow waves are considered. Transformation of the electromagnetic field is observed in the range of slow wave propagation ($c/v_{cp} < 1$), where under condition of a lower density medium (air medium) the electric field is drawn up to the surface of a denser medium (dielectric plate), which increases the wave energy propagating in the plate and intensifies its heating. Moreover, the given effect enhances with decreasing the working wavelength. The results of calculating the wavelength $\lambda_{пер}$ where transition of a fast wave into a slow one is observed, as well as the wavelength $\lambda_{тр}$, where transformation of the electromagnetic field starts, are presented. It is shown that for nondegenerative modes $\lambda_{тр} = \lambda_{пер}$, and for degenerative modes $\lambda_{тр} \neq \lambda_{пер}$. The obtained results can be used to intensify the heating of sheet dielectric materials in microwave conveyor-type devices.

Keywords: interior boundary value problem of electrodynamics, Helmholtz wave equation, electromagnetic field, principle of polarization duality, principle of superposition and orthogonality, E and H-types of waves, rectangular waveguide, boundary and initial conditions,

fast and slow waves, critical wave-lengths, longitudinal polarization electromagnetic field, vectors of electric and magnetic field strength

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЧ-НАГРЕВА ДИЭЛЕКТРИКОВ С ПОГЛОЩАЮЩИМИ СВЧ-ЭНЕРГИЮ НАПОЛНИТЕЛЯМИ В КАМЕРАХ С БЕГУЩЕЙ ВОЛНОЙ

С.В. Тригорлый, С.Г. Калганова, Ю.А. Кадыкова, В.Ю. Кожевников, А.С. Сивак, В.О. Юдина

Проведено математическое моделирование нагрева диэлектрических материалов с поглощающими СВЧ-энергию наполнителями в камерах с бегущей волной на базе прямоугольного волновода и на квазикоаксиальном волноводе. В качестве наполнителей рассматривались карбид кремния, графит и углеродное волокно. Определены конструктивные параметры и мощность СВЧ-установок с камерами бегущей волны для наиболее равномерного нагрева диэлектрических материалов цилиндрической формы с поглощающими СВЧ-энергию наполнителями.

Ключевые слова: математическое моделирование, диэлектрики, поглощающие наполнители, СВЧ-нагрев, СВЧ-камеры с бегущей волной

SIMULATION OF MICROWAVE DIELECTRIC HEATING WITH MICROWAVE-ENERGY ABSORBING FILLERS IN TRAVELLING WAVE CHAMBERS

S.V. Trigorly, S.G. Kalganova, Yu.A. Kadykova, V.Yu. Kozhevnikov, A.S. Sivak, V.O. Yudina

A mathematical modeling of heating dielectric materials with microwave energy-absorbing fillers in travelling wave chambers based on a rectangular waveguide and a quasi-axial waveguide has been performed. Silicon carbide, graphite, and carbon fiber were viewed as fillers. The design parameters and capacity of microwave installations with traveling wave chambers applied for a most uniform heating of dielectric materials of cylindrical shape with the fillers absorbing microwave energy have been determined.

Keywords: mathematical modeling, dielectrics, absorbing fillers, microwave heating, a microwave chamber with a traveling wave

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И ТВЕРДОСТИ ВЫСОКОПРОЧНОЙ СЛОИСТОЙ СИСТЕМЫ «СТАЛЬ X12МФ – Zr(O,C)-ПОКРЫТИЕ», ФОРМИРУЕМОЙ НА ШТАМПОВОМ ИНСТРУМЕНТЕ

М.Е. Федосеев, А.А. Фомин

Срок эксплуатации и надежность штампового инструмента зависят от комплекса физико-механических свойств, получаемых при оптимально выбранных технологических режимах упрочняющей обработки. В данной работе предлагается новый метод электроискрового легирования цирконием рабочих поверхностей предварительно закаленного штампового инструмента с последующей индукционной химико-термической обработкой в углеродсодержащей пасте для получения требуемой твердости и вырубной способности. Экспериментально изучены микроструктура, морфология поверхности и механические характеристики слоистой системы «сталь X12МФ-основа – Zr-покрытие», полученной электроискровым легированием при межэлектродном напряжении 2,9-7,6 В и рабочем токе 3,0-4,4 А с продолжительностью модификации не более 3,5-4 мин/см². Последующая химико-термическая обработка токами высокой частоты данной слоистой системы при рабочем токе от 200 до 500 А (1/16 действующего значения тока индуктора) и выдержке от 100 до 300 с способствует формированию износостойкого металлокерамического Zr(O,C)-покрытия с твердостью 1224–1412 HV при толщине слоя 15-60 мкм.

Ключевые слова: электроискровое легирование, цирконий, инструментальная сталь, слоистая система, цементация, токи высокой частоты, углеродсодержащая паста

INVESTIGATION OF THE MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF THE HIGH – STRENGTH LAYERED SYSTEM «STEEL X12MoV – Zr(O,C)-COATING» FORMED ON A DIE TOOL

M.E. Fedoseev, A.A. Fomin

The service life and reliability of a die tool depend on a set of physical and mechanical properties obtained under optimum operating schedules of their strengthening treatment. This paper presents a new method for zirconium electrospark alloying of the working surfaces of pre-hardened die casting tools followed by an induction chemical-thermal treatment in the carbon-containing paste required to obtain the necessary hardness and punching properties. Experiments have been performed on the microstructure, morphological and mechanical characteristics of the layered “steel X12MoV – Zr-coating” system obtained by electrospark doping under the interelectrode voltage of 2.9-7.6 V and operating current of 3.0-4.4 A, and the processing time no more than 3.5-04 min/cm². Subsequent chemical-thermal treatment of the given layered system with high-frequency currents at the operating current from 200 to 500 A (1/16 of the inductor current value) and the expo-sure time from 100 to 300 s facilitates formation of a high-strength cermet Zr(O,C)-coating with the hardness of 1224-1412 HV and layer thickness of 15-60 µm.

Keywords: electric spark doping, zirconium, tool steel, layered system, carburization, high frequency currents, carbon-containing paste

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ И ПРИРОДНЫХ БИТУМОВ СВЧ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Р.А. Сафиуллин

Исследован процесс добычи залежи высоковязкой нефти и битума с помощью СВЧ-нагревателей при нагнетании в нее воды или сухого пара. Разработанная конструкция с её теоретическими выкладками и положениями может быть использована в теплоэнергетике и нефтегазовом деле. От известных методов и конструкций предлагаемая модель отличается равномерностью нагрева залежи по всему ее объему, низкую материало- и капиталоемкость. Проведено численное моделирование разогрева пласта СВЧ излучением для оценки эффективности электротермического воздействия как метода интенсификации нефтедобычи при вертикальном и горизонтальном способах бурения скважин. Точность расчётов по предлагаемой модели зависят от точности исходных данных по электропроводности и магнитной проницаемости залежи. Для нагрева большого объёма пласта может быть использована поинтервальная дифференциация расположения СВЧ установок как при вертикальной, так и наклонной способах бурения скважин. Сам процесс длительности разогрева пласта должна быть интервальной по времени, с последующей его релаксацией для предотвращения процесса спекания смеси и её коксования.

Ключевые слова: высоковязкая нефть, СВЧ-нагреватель, энергоэффективность, токи высокой частоты

INTENSIFICATION OF PRODUCTION AND REFINING HIGH-VISCOUS OILS AND NATURAL BITUMENS BY THE MICROWAVE ELECTROTHERMAL TECHNOLOGY

R.A. Safiullin

The extraction technology of high-viscosity oil and bitumen deposits using microwave heaters under water or dry steam injection has been investigated. The available design, including theoretical calculations and provisions can be applied in heat power engineering and oil and gas industry. The proposed model differs from the standard methods and designs in uniformity of deposit heating throughout its volume, as well as low material and capital intensity. Numerical modeling of reservoir heating by microwave radiation was performed to assess effectiveness of the electro-thermal action as a method for intensifying oil production at vertical and horizontal well drilling processes. The accuracy of calculations based on the proposed model depends on the accuracy of initial data on electrical conductivity and magnetic permeability of the deposit. Selective differentiation in locating microwave units can be used for heating large volumes of reservoirs, both at vertical and inclined methods of drilling wells. The heating duration process should be estimated in time intervals, followed by its relaxing in order to prevent sintering and coking the mixture processes.

Keywords: high-viscosity oil, microwave heater, energy effectiveness, high frequency currents

СВЧ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ: ВОПРОСЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

М.И. Тухватуллин

Определены основные вехи истории СВЧ электротехнологии. Обоснованы перспективы этого научно-технологического направления. Сформулированы вопросы, стоящие перед современной СВЧ электротехнологией, решение которых будет способствовать ее развитию. Приведена структурная схема гибридной СВЧ электротехнологической установки.

Ключевые слова: электротехнологическая установка, рабочая камера, гибридная СВЧ электротехнологическая установка, СВЧ генератор, нетепловая СВЧ модификация

ISSUES AND PROSPECTS OF MICROWAVE ELECTRICAL TECHNOLOGY

M.I. Tukhvatullin

The article considers the milestones in the history of microwave electrical technology. The prospects for the given scientific and technological directions have been substantiated. The issues facing modern microwave electrical technology and solutions to its further development have been formulated. A structural flow chart to a hybrid microwave electrical facility is presented.

Keywords: electrical facility, working chamber, hybrid microwave electrical unit, microwave generator, non-thermal microwave modification

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ БЫТОВЫМИ ЭЛЕКТРОПРИЁМНИКАМИ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

С.Ш. Таваров, А.И. Сидоров

В работе предлагается метод прогнозирования электропотребления с учётом установленных коэффициентов, соответствующих условиям места расположения городских электропотребителей Республики Таджикистан. На основе предложенного метода рекомендованы сезонные графики электропотребления для крупных городов, имеющие отличительную особенность по климатометеорологическим условиям их расположения. Рекомендуемые сезонные графики электропотребления позволят решить вопрос по уменьшению потерь электроэнергии и выравниванию нагрузки по фазам городских электрических сетей.

Ключевые слова: бытовые электроприёмники, электропотребление, метод прогнозирования

A METHOD FOR PREDICTING ELECTRICITY CONSUMPTION BY HOUSEHOLD APPLIANCES IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

S.Sh. Tavarov, A.I. Sidorov

The paper presents a method for predicting power consumption with account for the established coefficients corresponding to locality conditions of urban power consumers in the Re-public of Tajikistan. The proposed method can be applied for designing seasonal schedules of electricity consumption in large cities, which have distinctive features in terms of the local climatic and meteorological conditions. The recommended seasonal electricity consumption schedules allow for solving the issues with reducing energy losses and equalizing urban electrical load profiles.

Keywords: household electrical appliances, power consumption, prediction method

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ СВЧ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

И.И. Артюхов, А.И. Земцов, Е.К. Пыльская, Д.Е. Процветов

Для исследования статических и динамических режимов в системе электропитания СВЧ электротехнологической установки разработана имитационная модель в среде Matlab с пакетом расширения Simulink. Моделирование проведено для случая, когда источником СВЧ-колебаний является пакетированный магнетрон 2М164. В результате моделирования

получены виртуальные осциллограммы напряжений и токов. Построены зависимости, характеризующие влияние сетевого напряжения на режим работы СВЧ электротехнологической установки. Предложены рекомендации по выбору элементов системы электропитания.

Ключевые слова: СВЧ-установка, магнетрон, система электропитания, имитационное моделирование

A SIMULATION TECHNIQUE IN THE STUDY OF THE POWER SUPPLY SYSTEM OF ELECTROTECHNOLOGICAL MICROWAVE UNITS

I.I. Artyukhov, A.I. Zemtsov, E.K. Pylskaya, D.E. Protsvetov

A simulation model in Matlab with the Simulink extension package has been developed to study the static and dynamic modes of the power supply system of a microwave electrotechnological unit. The simulation was performed for the cases when the source of microwave oscillations is the packaged 2M164 magnetron. Virtual oscillograms for voltages and currents have been obtained as a result of the given simulation technique. Dependences characterizing the impact of the mains voltage on operating conditions of the microwave electrotechnological unit have been determined. Recommendations relating the choice of components to the power supply system are given.

Keywords: microwave unit, magnetron, power supply system, simulation.

АВТОНОМНОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ДЕТСКОГО СПОРТИВНОГО ЛАГЕРЯ

Д.А. Сарапулов, В.В. Коваленко

Проведен анализ применения различных автономных источников питания для детского спортивного лагеря. Предложен вариант гибридной системы электроснабжения.

Ключевые слова: автономное электроснабжение, возобновляемые источники энергии, ветровая электростанция, солнечная электростанция, дизельная электростанция

SELF-CONTAINED ENERGY SUPPLY SYSTEM IN THE CHILDREN'S HEALTH CAMP

D.A. Sarapulov, V.V. Kovalenko

The article presents the analysis relating the use of various self-contained power sources in the children's health camp. The proposed type deals with a hybrid power supply system.

Keywords: self-contained power supply, renewable energy sources, wind power plant, solar power plant, diesel power plant

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

А.В. Левушкин, И.А. Меншиков

Представлены результаты исследования в области совершенствования релейной защиты силовых трансформаторов в электроэнергетике. Технический результат достигается тем, что решение задачи автоматизации контроля технического состояния обмоток силовых трансформаторов удобно выполнять с помощью микропроцессорных релейных защит и устройств автоматики. Это позволяет обходиться малыми выборками и обеспечивать высокую надежность распознавания технического состояния силовых трансформаторов.

Ключевые слова: релейная защита, электроэнергетика, силовые трансформаторы

IMPROVING RELAY PROTECTION OF POWER TRANSFORMERS APPLIED IN THE POWER GENERATING INDUSTRY

A.V. Levushkin, I.A. Menshchikov

The results of research into improving relay protection of power transformers applied in electric power industry are presented. The technical improvements can be achieved by solving the problems related with automation of condition monitoring of power transformer windings, which can be more effectively using microprocessor relay protection and automation devices. This can provide a possibility to deal with a small sample inspection and ensure high reliability in identifying technical conditions of power transformers.

Keywords: relay protection, electric power industry, power transformers

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ В КОМБИНИРОВАННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ

К.А. Бардакова, Т.Х. Айсина, А.Г. Сошинов

Одним из элементов автономных комбинированных энергетических установок на возобновляемых источниках энергии являются накопители энергии. В данной работе рассмотрена возможность использования литий-ионных аккумуляторов в качестве таких накопителей. В статье приведен сравнительный анализ энергетических и эксплуатационных характеристик, срока службы свинцово-кислотных и литий-ионных аккумуляторов.

Ключевые слова: автономные комбинированные энергетические установки, накопители энергии, свинцово-кислотные и литий-ионные аккумуляторы

USING ENERGY STORAGE SYSTEMS IN COMBINED POWER PLANTS WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

K.A. Bardakova, T.Kh. Aisina, A.G. Soshinov

One of the elements of autonomous combined power plants based on renewable energy sources are energy storage systems. This paper considers a possibility to use lithium-ion accumulators for the given power storage units. The article provides a comparative analysis of energy and operational characteristics, as well as service life of the lead-acid and lithium-ion accumulators.

Keywords: autonomous combined power plants, energy accumulators, lead-acid and lithium-ion accumulators

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЧ НЕТЕПЛОВОЙ МОДИФИКАЦИИ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА В КАМЕРЕ С БЕГУЩЕЙ ВОЛНОЙ

П.О. Трухин, С.Г. Калганова

Предложена математическая модель для СВЧ нетепловой модификации композиционного материала на базе камеры с бегущей волной на частотах 433 и 915 МГц в программной среде COMSOL Multiphysics.

Ключевые слова: математическое моделирование, СВЧ нетепловая модификация, композиционный материал, камера с бегущей волной

MATHEMATICAL MODELING OF MICROWAVE NON-THERMAL MODIFICATION OF A COMPOSITE MATERIAL IN A TRAVELING WAVE CHAMBER

P.O. Trukhin, S.G. Kalganova

A mathematical model is proposed for a microwave non-thermal modification of a composite material based on a traveling wave camera at the frequencies 433 and 915 MHz in the COMSOL Multiphysics software environment.

Keywords: mathematical modeling, microwave non-thermal modification, composite material, traveling wave chamber

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИКАЦИИ ОХРАНАПОЛНЕННЫХ ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ В СВЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Ю.А. Кадыкова, А.С. Мостовой, И.Д. Чапов

В работе установлена целесообразность обработки охранаполненного эпоксидного компаунда в СВЧ электромагнитном поле. Установлено, что при обработке со скоростью 1,989 м/мин и мощностью 350 Вт по сравнению с необработанным в СВЧ магнитном поле полимером увеличиваются изгибающее напряжение, модуль упругости на изгибе, прочность при растяжении, модуль упругости на растяжении, ударная вязкость, снижается относительное удлинение при растяжении.

Ключевые слова: эпоксидная смола, модификация, охра, пластификатор, СВЧ электромагнитное поле, деформационно-прочностные свойства

INVESTIGATION INTO EFFECTIVE MODIFICATION OF OCHER/EPOXY POLYMERS IN THE MICROWAVE ELECTROMAGNETIC FIELD

Yu.A. Kadykova, A.S. Mostovoy, I.D. Chapov

The article considers effectiveness of processing ochre/epoxy compounds in the micro-wave electromagnetic field. It has been found that processing at the speed of 1,989 m/min and the power of 350 W, if compared to the polymers untreated in the microwave magnetic field, results in an increase in the bending stress, transverse elasticity, tensile strength, tensile modulus, impact resilience, whereas tensile elongation decreases.

Keywords: epoxy resin, modification, ochre, plasticizer, microwave electromagnetic field, deformation and strength properties