

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.**



**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
АПЭП-2016**

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

ТОМ 2

22-23 сентября 2016 г.

Саратов 2016

УДК 621.385: 621.372: 621.382: 621.317: 621.793: 537.533

В докладах научно-технической конференции нашли отражение результаты теоретических и экспериментальных исследований в области электродинамики и микроволновой техники, микроволновой электроники, наноэлектроники, силовой электроники, полупроводниковой электроники, электроэнергетики, систем измерительной и медицинской техники.

Излагаются результаты исследования резонаторных и замедляющих систем, устройств СВЧ, приборов вакуумной, плазменной и микроэлектроники, технологические вопросы изготовления изделий электронной техники.

Сборник состоит из двух томов и включает три раздела: микроволновая электроника, вакуумная микроэлектроника и наноэлектроника; электродинамика и микроволновая техника; технологии производства электронных приборов, силовая электроника, прикладные аспекты электронного приборостроения.

Для специалистов в области электронной техники, электродинамики и микроволновой техники, энергетики СВЧ, контрольно-измерительной и медицинской техники, а также преподавателей, студентов, магистрантов и аспирантов радиофизических, электронных и энергетических специальностей.

Редакционная коллегия:

д.т.н., проф., зав. каф. ЭПУ СГТУ имени Гагарина Ю.А. Захаров А.А. (отв. редактор); д.т.н., проф. каф. ЭПУ СГТУ имени Гагарина Ю.А. Царев В.А.; д.т.н., проф. каф. ЭПП СГТУ имени Гагарина Ю.А. Артюхов И.И.; д.т.н., проф. каф. ЭПУ СГТУ имени Гагарина Ю.А. Мирошниченко А.Ю. (зам. отв. редактора, секретарь).

Part Number: CFP16521-PRT

ISBN: 978-1-5090-1712-6

Copyright and Reprint Permission: Abstracting is permitted with credit to the source. Libraries are permitted to photocopy beyond the limit of U.S. copyright law for private use of patrons those articles in this volume that carry a code at the bottom of the first page, provided the per-copy fee indicated in the code is paid through Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923. For reprint or republication permission, email to IEEE Copyrights Manager at pubs-permissions@ieee.org. All rights reserved.

Copyright ©2016 by IEEE

В.Н. Неведов, А.В. Мамонтов, А.А. Четкин
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», г. Москва, e-mail: vnefedov@hse.ru
**ТЕРМООБРАБОТКА ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАМЕДЛЯЮЩИХ СИСТЕМ**

V.N. Nefedov, A.V. Mamontov, A.A. Chechetkin
National Research University «Higher School of Economics», Moscow
**HEAT TREATMENT OF SHEET MATERIALS USING SLOW-WAVE
SYSTEMS**

The method of calculation of the temperature distribution in the dielectric material for the traveling wave microwave devices is presented. The basic equations for the temperature distribution in the direction of the electromagnetic field energy propagation with considering the dependence of the dielectric parameters of a material on the temperature changes and taking into account the heat transfer to the environment for the arbitrary design of the electrodynamic system are obtained. The results of calculation and measurements of the temperature distribution of the material in the direction of the traveling wave propagation at the electromagnetic field frequency oscillations of 2450 MHz are given. The discrepancy of calculated and measured characteristics of the temperature distribution in the material does not exceed 10%.

Развитие современных высокоэффективных технологий термообработки диэлектрических материалов в различных отраслях промышленности связано с использованием энергии микроволнового излучения в качестве источника тепла.

Для амплитуды напряжённости электрического поля E в декартовой системе координат произвольной электродинамической системы, расположенной в однородной среде с диэлектрическими потерями, справедливо волновое уравнение в частных производных [1,2,4]:

$$\frac{\partial E}{\partial x^2} + \frac{\partial E}{\partial y^2} + \frac{\partial E}{\partial z^2} = -k^2(\varepsilon' - j\varepsilon'')E,$$

где k - волновое число свободного пространства: $k=2\pi/\lambda$; $\varepsilon', \varepsilon''$ - действительная и мнимая части относительной диэлектрической проницаемости с учётом проводимости среды.

Связь между постоянными распространения волны в различных направлениях с волновым числом свободного пространства и диэлектрическими параметрами среды описывают характеристическим уравнением [1,4]:

$$(\alpha_x + j\beta_x)^2 + (\alpha_y + j\beta_y)^2 + (\alpha_z + j\beta_z)^2 = -k^2 \cdot (\varepsilon' - j\varepsilon''), \quad (1)$$

где $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z; \beta_x, \beta_y, \beta_z$ - постоянные затухания и фазовые постоянные в различных направлениях, соответственно.

Рассмотрим метод расчёта распределения температуры листовых диэлектрических материалов в направлении распространения энергии электромагнитного поля. Микроволновое устройство состоит из электродинамической системы, которая с одной стороны согласована с источником микроволновой энергии, а с другой стороны согласована с водяной нагрузкой. Водяная нагрузка снабжена специальным датчиком, который регистрирует значение проходящей мощности для контроля технологического процесса. В качестве электродинамической системы рассмотрим замедляющую систему.

Если энергия электромагнитного поля в замедляющей системе распространяется вдоль оси z , а над поверхностью замедляющей системы в направлении оси y электромагнитное поле затухает по экспоненциальному закону, то решение волнового уравнения для рассматриваемого случая имеет вид [1,4]:

$$E = E_0 \exp(-\alpha_z z) \exp(-\alpha_y y) \exp j(\omega t - \beta_z z),$$

где E_0 - амплитудный множитель.

Из уравнения (1) можно найти постоянные затухания как над поверхностью замедляющей системы, так и в направлении распространения энергии электромагнитного поля:

$$\alpha_z = k^2 \varepsilon'' / 2\beta_z;$$

$$\alpha_y = \sqrt{\beta_z^2 - k^2 \varepsilon' - \frac{k^4 \varepsilon''^2}{4\beta_z^2}}.$$

После преобразований, используя коэффициент замедления $k_{зам}$, получим:

$$\alpha_z = k\varepsilon'' / 2k_{зам};$$

$$\alpha_y = kk_{зам} \sqrt{1 - \frac{\varepsilon'}{k_{зам}^2} - \frac{\varepsilon''^2}{4k_{зам}^2}},$$

где $k_{зам} = \beta_z / k$.

Следовательно, для замедляющей системы распределение мощности в материале можно записать в виде (временной множитель опущен):

$$P(z, y) = P_{вх} \exp(-2\alpha_z z) \exp(-2\alpha_y y)$$

или

$$P(z, y) = P_{вх} \exp\left(-\frac{k\varepsilon''}{k_{зам}} z\right) \exp\left(-2kk_{зам} \sqrt{1 - \frac{\varepsilon'}{k_{зам}^2} - \frac{\varepsilon''^2}{4k_{зам}^2}} y\right), \quad (2)$$

где $P_{вх}$ - значение входной мощности от источника микроволновой энергии.

Рассмотрим распределение температуры листового диэлектрического материала вдоль направления распространения энергии электромагнитного поля и будем полагать, что толщина обрабатываемого материала d такова, что неравномерностью распределения температуры по толщине материала можно пренебречь.

На поверхности замедляющей системы (при условии $y = 0$) уравнение (2) можно записать в виде:

$$P(z) = P_{вх} \exp\left(-\frac{k\varepsilon''}{k_{зам}} z\right).$$

Пусть мощность $P_{вх}$ от источника микроволновой энергии поступает в замедляющую систему длиной l и шириной a . На поверхности замедляющей системы нагревается листовый диэлектрический материал толщиной d . Будем полагать, что мощность источника микроволновой энергии полностью поглощается материалом на длине замедляющей системы l . В этом случае температура обрабатываемого материала от входа замедляющей системы к выходу изменяется от конечной температуры T_k до начальной температуры T_n .

Будем полагать, что постоянная затухания амплитуды напряжённости электрического поля в материале при начальной

температуре соответствует значению α_n , а при конечной температуре - значению α_k . Значения постоянных затухания отличаются значениями мнимой части относительной диэлектрической проницаемости при начальной температуре материала ε''_n и конечной температуре материала ε''_k .

Мнимая часть относительной диэлектрической проницаемости обрабатываемого материала имеет линейную зависимость от изменения температуры, что справедливо практически для всех сухих и влажных однородных материалов, пластических масс на частоте колебаний электромагнитного поля 2450 МГц [2-4].

Выражение для распределения мощности в обрабатываемом материале с диэлектрическими потерями можно записать в виде функции, учитывающей зависимость диэлектрических параметров материала от температуры в направлении оси z [1,4]:

$$P(z) = f(z, T) \cdot P_{вх} \cdot e^{-2 \cdot \alpha_n z},$$

где $f(z, T)$ – функция, учитывающая зависимость диэлектрических параметров от температуры в направлении распределения энергии электромагнитного поля.

В работах [1-4] показано, что для расчёта распределения температуры в материалах, расположенных в микроволновых устройствах типа бегущей волны, целесообразно использовать эквивалентную модель в виде нагруженной длинной линии с учётом граничных условий. Эквивалентная модель микроволнового устройства с нагреваемым материалом показана на рис. 1.

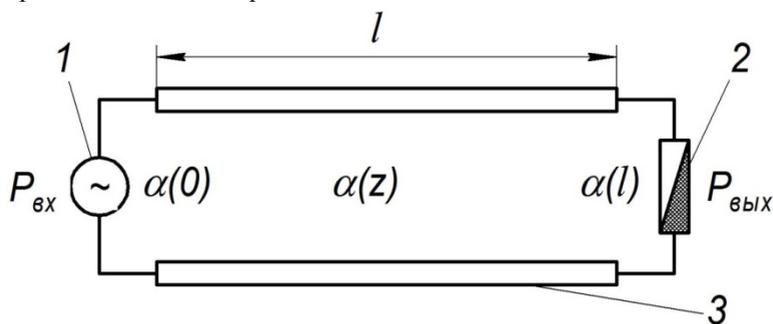


Рис. 1. Эквивалентная модель микроволнового устройства для термообработки диэлектрического материала: 1- источник микроволновой энергии; 2 – согласованная нагрузка; 3 – электродинамическая система с нагреваемым материалом

Будем полагать, что величина входной мощности $P(0)=P_{\text{вх}}$ практически полностью поглощается обрабатываемым материалом $P(l)=0$, тогда значения постоянных затухания амплитуды напряжённости электрического поля в материале $\alpha(0)=\alpha_k$ и $\alpha(l)=\alpha_n$. При заданных граничных условиях для неподвижного материала функция $f(z, T)$ имеет следующий вид [1-3]:

$$f(z, T) = \frac{\alpha_n}{\alpha_k - (\alpha_k - \alpha_n) \cdot e^{-2 \cdot \alpha_n \cdot z}}.$$

Если известны распределение мощности и значение постоянной затухания амплитуды напряжённости электрического поля в обрабатываемом материале, то можно определить погонную мощность потерь в направлении оси z :

$$P_{\text{поз}}(z) = -\frac{dP(z)}{dz} = 2 \cdot \alpha(z) \cdot P(z),$$

или

$$P_{\text{поз}}(z) = 2 \cdot P_{\text{вх}} \cdot \alpha_k \cdot f^2(z, T) \cdot e^{-2 \cdot \alpha_n \cdot z}.$$

В многочисленных технологических процессах нагрева диэлектрических материалов заметную роль играет конвективный теплообмен. В этом случае значение погонной мощности, поглощаемой обрабатываемым материалом с учётом коэффициента теплоотдачи, можно записать в виде [5]:

$$P_{\text{поз}}(z) = 2 \cdot P_{\text{вх}} \cdot \alpha_k \cdot f^2(z, T) \cdot e^{-2 \cdot \alpha_n \cdot z} - \gamma \cdot [T(z) - T_n],$$

где γ – погонный коэффициент конвективного теплообмена, Вт/(м²·°С).

Тогда соотношение для удельной мощности потерь при постоянном сечении обрабатываемого диэлектрического материала в микроволновом устройстве приобретает вид:

$$P_{\text{уд}}(z) = \frac{P_{\text{поз}}(z)}{S},$$

где S – площадь поперечного сечения обрабатываемого материала, $S=da$.

С учётом теплоотдачи в окружающее пространство значение удельной мощности потерь в обрабатываемом материале имеет вид:

$$P_{y\partial}(z) = \frac{2 \cdot P_{ex} \cdot \alpha_k \cdot f^2(z, T) \cdot e^{-2 \cdot \alpha_n \cdot z} - \gamma [T(z) - T_n]}{S}$$

Если исходный материал до поступления в микроволновое устройство имел начальную температуру T_n , то в процессе нагрева обрабатываемый материал приобретает следующее распределение температуры вдоль оси z :

$$T(z) = T_n + \frac{P_{y\partial}(z) \cdot \tau}{c \cdot \rho},$$

где c – теплоемкость материала; ρ – плотность материала; τ – время обработки материала в микроволновом поле.

Распределение температуры в обрабатываемом материале с учётом теплоотдачи в окружающее пространство можно записать в виде [5]:

$$T(z) = T_n + \frac{2 \cdot P_{ex} \cdot \alpha_k \cdot f^2(z, T) \cdot e^{-2 \cdot \alpha_n \cdot z} \cdot \tau}{S \cdot \rho \cdot c + \gamma \cdot \tau}.$$

Измерения распределения температуры материала вдоль оси z проводились с использованием термометра (термопара) с ценой деления 0,25 °С. Обрабатываемый материал толщиной 3 мм и шириной 50 мм был помещён в оболочку из фторопласта толщиной 2 мм для того, чтобы не учитывать теплоотдачу в окружающее пространство.

Нагрев материала производился таким образом, чтобы на входе системы температура материала соответствовала заданной температуре +200 °С. После достижения заданной температуры источник микроволновой энергии отключался и измерялась температура в материале по центральной линии замедляющей системы через каждые 50 мм. Для этого в оболочке из фторопласта были сделаны специальные отверстия до центра обрабатываемого материала глубиной 1,5 мм.

Основные параметры замедляющей системы: $l = 400$ мм, $a = 50$ мм, $f = 2450$ МГц, $P_{ex} = 600$ Вт, $k_{зам} = 5$, $\tau = 60$ с, и параметры обрабатываемого материала: $d = 3$ мм; $c = 0,84$ Дж/(г·К), $\rho = 19$ г/см³; $\varepsilon''_n = 0,12$; $\varepsilon''_к = 0,18$, $T_n = 20$ °С, $T_к = 200$ °С.

На рис. 2 представлены рассчитанные и измеренные характеристики распределения температуры в листовом материале.

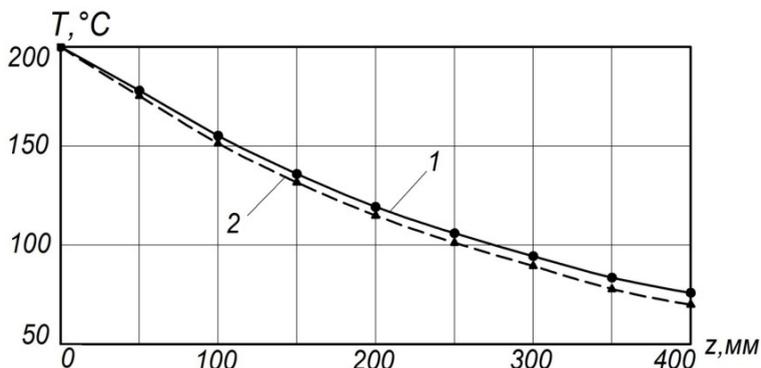


Рис. 2. Рассчитанные (1) и измеренные (2) характеристики распределения температуры в листовом материале

Расхождение рассчитанных и измеренных характеристик распределения температуры в материалах не превышало 10 %.

Полученные результаты измерений распределения температуры диэлектрических материалов, расположенных на поверхности замедляющих систем, позволяют утверждать о перспективности использования микроволнового нагрева.

Библиографический список

1. Нефедов В.Н. Сверхвысокочастотные устройства для термообработки диэлектрических материалов больших площадей (обзор) / В.Н. Нефедов // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. 1998. Вып. 2. С. 32-35.
2. Нефедов В.Н. Термообработка диэлектрических материалов с использованием многоэтажных замедляющих систем / В.Н. Нефедов // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. 1999. Вып. 1. С. 33-37.
3. Методика выбора электродинамических систем СВЧ-устройств типа бегущей волны для термообработки материалов / С.Ю. Шахбазов, И.В. Назаров, В.Н. Нефедов, А.С. Черкасов // Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине: труды VIII межвуз. науч. школы молодых специалистов. М.: МГУ, 2007. С. 51-55.
4. Микроволновые технологии / А.В. Мамонтов, В.Н. Нефедов, И.В. Назаров, Т.А. Потапова. М.: ГНУ НИИ ПМТ МИЭМ (ТУ), 2008. 326 с.
5. Измерение температуры листовых материалов в микроволновых установках типа бегущей волны / В.Н. Нефедов, А.В. Мамонтов, В.П. Симонов, В.В. Афанасьев // Измерительная техника. 2015. №10. С. 53-54.

СОДЕРЖАНИЕ

Технологии производства электронных приборов, силовая электроника, прикладные аспекты электронного приборостроения

- Антипин Д.Я., Бондаренко Д.А., Воробьев В.И., Измеров О.В.** Непосредственный тяговый электропривод локомотива с разделением статора и ротора.
Antipin D.Ya., Bondarenko D.A., Vorobyev V.I., Izmerov O.V. Direct traction drive locomotive with the division stator and rotor. 5
- Артюхов И.И., Лотарева М.М., Захаров В.П.** Исследование характеристик тиристорного преобразователя частоты для индукционного нагрева металлов с помощью имитационной модели.
Artyukhov I.I., Lotareva M.M., Zaharov V.P. Investigation of characteristic of thyristor frequency converters for induction heating with simulation model. 13
- Артюхов И.И., Земцов А.И., Сошинов А.Г.** Имитационное моделирование источника питания пакетированного магнетрона для промышленных применений.
Artyukhov I.I., Zemtsov A.I., Soshinov A.G. Simulation of power supply packaged magnetron for industrial applications. 18
- Артюхов И.И., Молот С.В., Земцов А.И.** Особенности работы источника постоянного тока при несимметрии питающей сети.
Artyukhov I.I., Molot S.V., Zemtsov A.I. Operating features of DC source under unbalance mains. 21
- Шилин А.Н., Шилин А.А., Артюшенко Н.С.** Автоматическая коррекция методической погрешности в импульсных рефлектометрах.
Shilin A.N., Shilin A.A., Artyushenko N.S. Automatic correction of methodological errors in a reflectometer. 26
- Bolshakov A.A., Veshneva I.V., Chistyakova T.B.** The architecture of intellectual system for monitoring of university students competences formation process. 30
- Арутюнян Р.В., Арутюнян Т.Р.** Математическое моделирование вентильного индукторного двигателя.
Harutyunyan R.V., Harutyunyan T.R. Mathematical simulation switched reluctance motor. 38
- Арутюнян Р.В., Арутюнян Т.Р.** Моделирование воздействия сильноточного импульса на электрод.
Harutyunyan R.V., Harutyunyan T.R. Simulation of high-current pulse to the electrode. 46
- Ахобадзе Г.Н.** Измеритель плотности твердых материалов.
Akhobadze G.N. Device for measuring density of solid materials. 54

- Захаров А.А., Аршинов М.Н., Самылкин А.М., Афонин И.Н.** Расчет и оптимизация многосекционного индуктора для импульсного намагничивания (размагничивания) высококоэрцитивных магнитов.
Zaharov A.A., Arshinov M.N., Samilkin A.M., Afonin I.N. Calculation and optimization of multiple-inductor for pulse magnetization (demagnetization) highly-coercive magnet. 60
- Банковский А.С., Захаров А.А., Власова Ю.А., Потапов А.А.** Токовая напряженность электрического поля и распределение концентрации заряженных частиц плоской газоразрядной плазмы в поперечном магнитном поле.
Bankovsky A.S., Zaharov A.A., Vlasova Yu.A., Potapov A.A. Current electrical field intensity and distribution of charged particle density flat discharge plazma in lateral magnetic field. 65
- Блюштейн Л.А., Мешков А.В., Мельников А.Г., Плотникова О.А., Коваленко А.В., Мельников Г.В.** Импульсный флуориметр для определения содержания тяжелых металлов в белках.
Blushtein L.A., Meshkov A.V., Melnikov A.G., Plotnikova O.A., Kovalenko A.V., Melnikov G.V. Pulse fluorimeter to determine the content of heavy metals in proteins. 72
- Назарьев А.В., Бочкарев П.Ю.** Обеспечение эффективного производства изделий электронного приборостроения на основе установления взаимосвязей между технологической подготовкой изготовления и сборки.
Nazaryev A.V., Bochkaryov P.Yu. Ensure of the effective electron devices engineering based on the links between the process design of machining and assemblage. 77
- Бриенков А.С., Морозов А.О., Морозов О.А., Прокопенко А.В., Требух В.П.** СВЧ-установка для обработки минерального сырья.
Brienkov A.S., Morozov A.O., Morozov O.A., Prokopenko A.V., Trebuk V.P. Microwave installation for mineral raw materials. 85
- Салихов Р.Н., Олейник А.С.** Современное состояние отечественных тепловых приемников лазерного излучения.
Salikhov R.N., Oleynik A.S. The modern status of native thermal detectors of laser radiation. 89
- Дворников О.В., Божаткин О.А., Прокопенко Н.Н., Бугакова А.В., Бутырлагин Н.В.** Технологический маршрут изготовления радиационно стойких микросхем базового матричного и базового структурного кристаллов для многоканальных датчиковых систем.
Dvornikov O.V., Bozhatkin O.A., Prokopenko N.N., Bugakova A.B., Butyrlagin N.V. Operation-routing sequence of production of the radiation-hardened microcircuits of the structured array МН2ХА010 for multichannel sensor systems. 96

- Васильков М.Ю., Федоров Ф.С., Лашков А.В., Варезников А.С., Соломатин М.А., Сысоев В.В.** Применение нанотубулярного диоксида титана для газовых сенсоров.
Vasilkov M.Yu., Fedorov F.S., Lashkov A.V., Varezhnikov A.S., Solomatин M.A., Sysoev V.V. The application of nanotubular titanium dioxide for gas sensors. 104
- Gaynutdinov R.R., Chermoshentsev S.F.** Study immunity to disturbance of electronic system aircraft by influences of intentional ultrashort electromagnetic pulses. 107
- Галушак В.С., Сошинов А.Г., Хавроничев С.В., Бахтиаров К.Н.** Система управления электрогенерацией и освещением автономного осветительного прибора.
Galushchak V.S., Soshinov A.G., Havronichev S.V., Bakhtiarov K.N. Control system of electrogeneration and lighting of the independent illuminant. 113
- Горбунов М.А.** Динамика изменения параметров плазмы в СВЧ-источнике ионов водорода.
Gorbunov M.A. Dynamics of changes in the plasma parameters in microwave hydrogen ion source. 116
- Горбунов М.А.** Динамика нагрева плазменных компонент в резонаторе СВЧ-источника ионов водорода.
Gorbunov M.A. Heating dynamic of plasma components in resonator of microwave hydrogen ion source. 120
- Олейник А.С., Салихов Р.Н.** Неохлаждаемые микроболометрические матрицы.
Oleynik A.S., Salikhov R.N. Uncooled microbolometer arrays. 123
- Гребенников С.А., Гребенников А.С.** Адаптивное управление двигателем внутреннего сгорания регулятором экстремального типа.
Grebennikov S.A., Grebennikov A.S. Extreme regulator of adaptive control for the internal combustion engine. 129
- Григорьян С.В., Кобец А.К., Явчуновская С. В., Давидович М.В.** Экспериментальное исследование и моделирование распределения поля в желобковом волноводе при различных вариантах инъекции в него СВЧ-энергии.
Grigoryan S.V., Kobetz A.K., Yavchunovskaya S.V., Davidovich M.V. Experimental study and field distribution modeling in groove waveguide at different variants of microwave energy injection. 137
- Шилин А.Н., Шилин А.А., Дементьев С.С.** Опоры воздушных линий электропередачи для «умных» сетей.
Shilin A.N., Shilin A.A., Demytyev S.S. The towers of overhead power lines for «smart» grids. 144

- Дрогайтцева О.В., Мантуров А.О.** Простая spice-модель нейрона.
Drogaytseva O.V., Manturov A.O. Simple spice-neuron model. 148
- Мантуров А.О., Дунаева Т.Ю.** Схемотехнический подход к исследованию процессов СВЧ-сушки.
Manturov A.O., Dunaeva T.Yu. The circuit approach to the study of the processes of microwave drying. 152
- Zaytseva E.V.** Sensitivity assessment of CCDS television sensors. 155
- Злобина И.В., Бекренев Н.В.** Повышение прочности порошковых композиционных материалов с иерархической структурой в СВЧ-электромагнитном поле.
Zlobina I.V., Bekrenev N.V. Increase of durability of powder composite materials with hierarchical structure in the microwave oven the electromagnetic field. 163
- Зудов Р.И., Сороцкий В.А.** Оценка энергетической эффективности усилителей мощности класса *DE* при работе в полосе частот.
Zudov R.I., Sorotsky V.A. Evaluation of efficiency class *DE* POWER amplifier in the frequency band. 168
- Овчинников А.Е., Захаров А.А.** Разработка высокоэффективного генератора
Ovchinnikov A.E., Zaharov A.A. Development of high-efficiency generator 175
- Захаров А. А., Ершов Д. А.** Исследование оптимального расположения светодиодных источников освещения.
Zaharov A. A., Ershov D. A. Investigation optimal location led lighting source. 179
- Швачко А.А., Захаров А.А., Калашникова Е.Н.** Поиск оптимального сочетания геометрических параметров кольцевого магнита с трапецидальным сечением.
Shvachko A.A., Zaharov A.A., Kalashnikova E.N. Search the optimal combination of the geometric parameters of the ring magnet with a trapezoidal cross-section. 187
- Иевлев В.И., Смирнов Н.В.** Математическое моделирование точности параметров многослойных печатных плат.
Ievlev V.I., Smirnov N.V. Mathematical modeling of the parameters of accuracy multilayer printed wiring boards. 191
- Смирнов В.А., Романова Ю.В., Смирнов А.В.** Получение вакуумно-плотных соединений методом термодиффузионной сварки в вакууме при производстве ЭВП.
Smirnov V.A., Romanova Yu.V., Smirnov A.V. Obtaining vacuum-tight connections by the diffusion welding method under vacuum conditions while producing vacuum tubes. 195

- Калеев Д.В., Переверзев А.Л.** Алгоритм сокращения времени разрешения фазовых неоднозначностей многоантенной спутниковой радионавигационной системы за счет использования априорных данных. 202
- Kaleev D.V., Pereverzev A.L.** Algorithm of reducing the time of resolving phase ambiguities of multi-antenna global navigation satellite system by using priori information.
- Киракосян С.А., Галалу В.Г.** Оценка уровня помех на входах аналого-цифровых преобразователей измерительных систем. 208
- Kirakosyan S.A., Galalu V.G.** Evaluation of the noise level on analog-to-digital converter's inputs.
- Самойлов Л.К., Киракосян С.А.** Погрешности наложения спектров при дискретизации сигналов с неограниченным спектром. 216
- Samoylov L.K., Kirakosyan S.A.** The aliasing errors at sampling signals of sensors with unlimited spectrum.
- Kirsha A.V., Chermoshentsev S.F.** Analysis of power supplies mutual impedance as a share of aircraft electrical system by MATLAB/Simulink. 222
- Степанов С.Ф., Артюхов И.И., Коваленко П.В., Коваленко В.В.** Концепция формирования кластерно-сотовых систем децентрализованного электроснабжения в рамках технологической платформы «малая энергетика».
- Stepanov S.F., Artyukhov I.I., Kovalenko P.V., Kovalenko V.V.** Construction concept of cluster honeycomb systems decentralized electric power supply under the technology platform «Small Energy». 229
- Кожевников В.Ю., Машков И.В.** Математическое моделирование нагрева диэлектрика в СВЧ-камере 3D принтера. 236
- Kozhevnikoff V.Yu., Mashkov I.V.** Mathematical modeling of heat microwave dielectric chamber in 3D printer.
- Kondakov D.V., Lavrov A.P., Ivanov S.I., Kosmynin A.N.** The frequency discriminator in 20 – 2250 MHz frequency band with parallel low and high frequency equalizer channels. 241
- Алехина В.И., Королев Д.С., Королев С.В.** К вопросу о несостоятельности традиционных методов определения статистических функций распределения изделий вакуумной и плазменной электроники.
- Alechina V.I., Korolev D.S., Korolev S.V.** The failure of traditional methods of determining statistical distribution functions of the units of vacuum and plasma electronics. 249
- Синицын Н.И., Ёлкин В.А., Бецкий О.В.** Обнаружение структуризации воды микропериодическими магнитными полями. 257
- Sinityn N.I., Elkin V.A., Betskii O.V.** Detection of structurization of water by microperiodic magnetic fields.

- Швачко А.А., Захаров А.А., Власова Ю.А.** Определение чувствительности магнитного поля кольцевого магнита с трапециевидным поперечным сечением при вариации различных геометрических параметров.
Shvachko A.A., Zaharov A.A., Vlasova Yu.A. Determine the sensitivity of the magnetic field of the ring magnet with a trapezoidal cross-sectional variations in different geometrical parameters. 264
- Корчагин С.А., Терин Д.В.** Разработка прикладных средств для подавления хаоса в процессах коррозии металлов.
Korchagin S.A., Terin D.V. Development program complex for the suppression of chaos in the process of corrosion of metals. 267
- Корчагин С.А., Терин Д.В.** Исследование электродинамических свойств слоистого композита фрактальной структуры.
Korchagin S.A., Terin D.V. Research electrodynamic properties of layered composite the fractal structure. 272
- Скурихин Д.Н., Коршунов А.В.** Разработка метода оценки выхода годных блоков статического ОЗУ для повышения быстродействия операции чтения.
Skurikhin D.N., Korshunov A.V. Accurate yield estimation of read access failure SRAM. 276
- Коршунов А.В.** Разработка базовых элементов преобразования уровня сигнала для схем с кластерным изменением напряжения питания.
Korshunov A.V. Design of level converters standard cells for circuits with clustered voltage scaling. 284
- Golushko D.A., Lysenko A.V., Yurkov N.K., Bushmelev P.E., Kalaev M.P.** Multi-channel vibration measurement machine. 292
- Grigoriev A.V., Trusov V.A., Kochegarov I.I., Goryachev N.V., Pivkin A.V.** Characteristics of image blur of the round mark during vibration movement along z axis. 298
- Бархоткин В.А., Минаков Е.И., Калистратов Д.С., Кочетков М.П.** Методы искусственного интеллекта в задачах информационно-измерительного анализа и цифровой обработки квазистационарных аэровидеоизображений.
Barhotkin V.A., Minakov E.I., Kalistratov D.S., Kochetkov M.P. Methods of artificial intelligence in the tasks of information and measuring analysis and digital processing of quasistationary aervideoimages. 305
- Бархоткин В.А., Минаков Е.И., Калистратов Д.С., Кочетков М.П.** Методы цифровой фильтрации сигналов в задачах информационно-измерительного анализа и компрессии панорамных видеоизображений транспортных потоков.
Barhotkin V.A., Minakov E.I., Kalistratov D.S., Kochetkov M.P. Methods of digital filtering in the tasks of information and measuring analysis and compression of panoramic videoimages of road traffic. 311

- Котина Н.М., Куц Л.Е., Родионов И.В.** Исследование влияния технологических режимов диффузионной сварки на качество соединений ферритов с металлами.
Kotina N.M., Kuts L.E., Rodionov I.V. Investigation of the influence of technological modes of diffusion welding quality iron compounds with metals. 316
- Семенов С.В., Зоркин А.Я., Вавилина Н.А.** Особенности нанотехнологии электровакуумных приборов.
Semenov S.V., Zorkin A.Ya., Vavilina N.A. Nanotechnology features of vacuumelectron devices. 320
- Куц Л.Е., Котина Н.М., Родионов И.В.** Особенности технологических процессов формирования сварных соединений ферритов с металлами для электронных устройств.
Kuts L.E., Kotina N.M., Rodionov I.V. Features process of formation of welds with iron metal for electronic devices. 325
- Лясников В.Н., Лясникова А.В., Протасова Н.В.** Особенности формирования наноструктурированных электроплазменных титановых покрытий в производстве изделий электронной техники.
Lyasnikov V.N., Lyasnikova A.V., Protasova N.V. Features of formation of nano-structured plasma-sprayed titanium coating in the manufacture of electronics. 329
- Лясникова А.В., Лясников В.Н., Маркелова О.А., Дударева О.А., Гришина И.П.** Пористые плазмонапыленные покрытия, обладающие повышенной адгезионной прочностью.
Lyasnikova A.V., Lyasnikov V.N., Markelova O.A., Dudareva O.A., Grishina I.P. Porous plasma sprayed coatings having improved adhesion strength. 332
- Maksudov D.V., Yangirov I.F., Yushkova O.A.** The mathematical model of nanopainting spraying in electric and magnetic fields. 336
- Барабанов И.О., Мальцева Н.С., Барабанова Е.А.** Ячейка коммутации для оптических систем передачи информации.
Barabanov I.O., Maltseva N.S., Barabanova E.A. Switching cell for information transmission optical systems. 343
- Масленников С.П., Крастелев Е.Г.** Динамика включения малогабаритных управляемых вакуумных разрядников при высоких скоростях нарастания коммутлируемого тока.
Maslennikov S.P., Krastelev E.G. Turn-on dynamics of small-sized triggered vacuum switches at fast rising of commutated current. 347
- Серебрякова А.С., Масленников С.П.** Твердотельный блок коммутации для модуляторов мощных СВЧ-приборов.
Serebryakova A.S., Maslennikov S.P. Solid-state switch unit for modulators of power microwave devices. 351

- Масленников С.П.** Экспериментальное исследование коммутационных характеристик малогабаритных управляемых вакуумных разрядников.
Maslennikov S.P. An experimental study of commutation characteristics of small-sized triggered vacuum switches. 357
- Артюхов И.И., Соломин М.А., Львова Е.В.** Метод измерения реактивной мощности в промышленных сетях переменного тока.
Artyukhov I.I., Solomin M.A., L'vova E.V. A method of reactive power measurement in industrial alternative current mains supplies. 361
- Sytnik A.A., Semezhev N., Glukhova R.M., Umnova E.G., Vagarina N.S.** Introduction of a multi-port wave-correlator as promising receiver for software defined radio. 367
- Salah Khaled.** On circuit architectures for 3D integration: design space exploration. 374
- Медведев М.А., Олейник А.С.** Области применения визуализатора для контроля терагерцевого излучения различной мощности.
Medvedev M.A., Oleynik A.S. Field of application of visualizer for monitoring of terahertz radiation different power. 381
- Медведев М.А., Олейник А.С.** Устройство визуализации источников терагерцевого излучения.
Medvedev M.A., Oleynik A.S. Devices for visualization of sources of terahertz radiation. 387
- Мельников А. Г., Мельников Г.В., Варезников А.С., Ефремова В.В., Куенбаева В.Р., Дыкин В.С., Сысоев В.В.** Флуоресцентная мультисенсорная система для селективного определения различных солей тяжелых металлов в водном растворе.
Melnikov A. G., Melnikov G. V., Varezhnikov A. S., Efremova V. V., Kuenbaeva V. R., Dykin V. S., Sysoev V. V. The fluorescent multi-sensor array to selectively detect a presence of various heavy metals in aqua solutions. 393
- Миргородская Е.Е., Митяшин Н.П., Томашевский Ю.Б., Карнаухов Е.Д.** Анализ чувствительности динамических характеристик многоуровневого инвертора при нечеткости задания его параметров.
Mirgorodskaya E.E., Mityashin N.P., Tomashevsky Yu.B., Karnaukhov E.D. Analyse of sensitivity of dynamic characteristics of inverter at accuracy of its parameters. 396
- Светлов М.С., Львов А.А., Кленов Д.В.** Принципы обеспечения повышенной надежности дистанционного тестового контроля.
Svetlov M.S., L'vov A.A., Klenov D.V. The principles of ensuring high reliability of remote test monitoring. 403
- Мошкин В.И., Угаров Г.Г.** Электромеханические характеристики импульсных линейных электромагнитных двигателей продольного магнитного поля в функции перемещения.
Moshkin V.I., Ugarov G.G. Electromechanical characteristics of pulse linear electromagnetic engines of the longitudinal magnetic field as movement. 408

- Львов А.А., Галкина С.А., Ануфриев А.Н.** Проектирование широкополосных анализаторов СВЧ-цепей на основе многополюсного рефлектометра.
L'vov A.A., Galkina S.A., Anufriev A.N. Design of wideband automatic network analyzers based on the multi-port reflectometer. 416
- Мошкин В.И., Угаров Г.Г.** Предельная магнитная энергия электромеханического преобразователя электромагнитного типа.
Moshkin V.I., Ugarov G.G. Extreme magnetic energy of the electromechanical converter of electromagnetic type. 424
- Третьяк А.Я., Денисов П.А.** Исследование оттаивания грунтов магнетронами.
Tretyak A.Ya., Denisov P.A. Research of thawing soil using magnetrons. 428
- Нефедов В.Н., Мамонтов А.В., Сайгин И.А.** Термообработка стержневых диэлектрических материалов с использованием микроволнового излучения.
Nefedov V.N., Mamontov A.V., Saygin I.A. Heat treatment of a rod dielectric materials using microwave radiation. 436
- Moutchkaev A.S., Kong S.-H., L'vov A.A.** Parameter estimation of superimposed sinusoids by data matrix subfactorization: theory and algorithm. 442
- Moutchkaev A.S., Kong S.-H., L'vov A.A.** Parameter estimation of superimposed sinusoids by data matrix subfactorization: analysis and results. 448
- Нефедов В.Н., Мамонтов А.В., Четкин А.А.** Термообработка листовых материалов с использованием замедляющих систем.
Nefedov V.N., Mamontov A.V., Chechetkin A.A. Heat treatment of sheet materials using slow-wave systems. 456
- Нефедов В.Н., Мамонтов А.В., Афанасьев В.В.** Микроволновый метод отверждения труб из полимерных композиционных материалов.
Nefedov V.N., Mamontov A.V., Afanasyev V.V. Microwave method of polymeric composite pipes curing. 463
- Нефедов Д.В., Шаныгин В.Я., Суздальцев С.Ю., Яфаров Р.К.** Структурирование поверхности монокристаллического кремния после вакуумно-плазменного травления через островковую углеродную пленку.
Nefedov D.V., Shanygin V.Ya., Suzdaltsev S.Yu., Yafarov R.K. Structuring of silicon surface after vacuum-plasma treatment through discontinuous carbon film. 469
- Новожилов А.Е., Масленникова И.С.** Исследование отключающей способности управляемых вакуумных разрядников.
Novozhilov A.E., Maslennikova I.S. A study of triggered vacuum switch interrupting capability. 473
- Кожанов Р.В., Кожанова Е.Р., Захаров А.А.** Программное обеспечение для распознавания импульсных прямоугольных сигналов.
Kozhanov R.V., Kozhanova E.R., Zaharov A.A. Software for recognition of a rectangular pulse signal. 477

- Кожанова Е.Р., Ткаченко И.М., Захаров А.А.** Программное обеспечение моделирования продольного распределения магнитного поля магнитных фокусирующих систем.
Kozhanova E.R., Tkachenko I.M., Zaharov A.A. Software modeling longitudinal magnetic field distribution magnetic focusing systems. 483
- Морозов А.О., Морозов О.А., Калимуллин Д.З., Прокопенко А.В., Требух В.П.** Разработка установки для микроволнового нагрева бетонов перед заливкой в формы.
Morozov A.O., Morozov O.A., Kalimullin D.Z., Prokopenko A.V., Trebukh V.P. Research and development of installation for microwave heating of concrete before pouring into molds. 489
- Захаров А.А., Ткаченко И.М., Кожанова Е.Р., Мирошниченко А.Ю.** Исследование принципа работы р-і-п диодов с применением основ вейвлет-анализа.
Zaharov A.A., Tkachenko I.M., Kozhanova E.R., Miroshnichenko A.Yu. Study of principle of operation of p-i-n diode with application of the fundamentals of wavelet analysis. 493
- Панов А.П., Савченко Ю.В., Серов А.Н.** Мобильный измеритель состояния атмосферы, предназначенный для работы в сложных условиях эксплуатации.
Panov A.P., Savchenko Yu.V., Serov A.N. Measuring atmospheric condition, designed for operation in rough conditions. 497
- Синева Я.А., Перевозникова Я.В., Перешивайлов В.К.** Комплексные исследования химического состава черной катодной фольги электрических конденсаторов.
Sineva Ya.A., Perevoznikova Ja.V., Pereshivajlov V.K. Integrated research chemical composition of black cathode foil electrical capacitors. 504
- Лебедева А.А., Бусыгин Г.В., Стешина Л.А., Петухов И.В.** Симметричный ограничитель КВ- и УКВ-диапазонов систем удаленного управления.
Lebedeva A.A., Busigin G.V., Steshina L.A., Petukhov I.V. Symmetric limiter HF and VHF bands of system remote control. 509
- Макаров А.Н., Танрывердиев И.О., Муреев П.Н., Макаров Р.А., Петухов И.В.** Автоматическая система управления микроклиматом помещений.
Makarov A.N., Tanryverdiev I.O., Mureev P.N., Makarov R.A., Petukhov I.V. Automatic climate control system. 517
- Антонов И.Н., Пименов А.Н.** Детонационно-газовая обработка поверхностей твердых тел.
Antonov I.N., Pimenov A.N. Detonation-gas treatment of solid surfaces. 523
- Николаенко А.Ю., Львов А.А.** Считыватель РФИД системы на основе комбинированного многополюсного рефлектометра.
Nikolaenko A.Yu., L'vov A.A. A RFID reader based on combined multi-port reflectometer. 527

- Сердечный Д.В., Томашевский Ю.Б.** Определение параметров балансировочного процесса многоэлементных литий-ионных аккумуляторных батарей. 531
- Serdechnyy D.V., Tomashevskiy Yu.B.** Determination of the parameters of balancing process of multielement lithium ion batteries. 531
- Сивяков Б.К., Скрипкин А.А., Сивяков Д.Б.** Структурно – функциональная схема устройства обнаружения высоковольтных воздушных линий электропередачи вертолетами при маловысотном полете. 538
- Sivyakov B.K., Skripkin A.A., Sivyakov D.B.** Structural - functional scheme of detection devices of high overhead power lines by helicopter during low-altitude flight. 538
- Сорокин А.А., Горюнов А.А.** Разработка структурных схем измерительных приборов для мониторинга систем мобильной связи. 541
- Sorokin A.A., Gorunov A.A.** Development of structural schemes of measuring instruments for monitoring mobile communication systems. 541
- Сороцкий В.А., Уланов А.М.** Особенности практической реализации выходного напряжения с улучшенным спектральным составом в мощных ключевых генераторах. 549
- Sorotsky V.A., Ulanov A.M.** Practical issues of implementation improved spectrum output voltage in power switched-mode generators. 549
- Степанов М.Ф., Степанов А.М.** Прикладные аспекты аппаратной реализации на ПЛИС интеллектуальных систем управления. 557
- Stepanov M.F., Stepanov A.M.** Applied aspects of realizations on FPGA of intellectual control systems. 557
- Шумилин А.И., Плотников М.В.** Модернизация установки высокочастотного напыления для выращивания пьезоактивных наноструктурированных пленок диэлектриков. 563
- Shumilin A.I., Plotnikov M.V.** Modernization of the installation of high-frequency vacuum evaporator for growing piezoelectric nanostructure films of dielectrics. 563
- Abramovich B.N., Sychev Yu.A.** The evaluation of hybrid active filter efficiency. 566
- Швачко А.А., Захаров А.А.** Экспериментальная проверка расчета кольцевого магнита с трапецидальным сечением методом суперпозиции. 572
- Shvachko A.A., Zaharov A.A.** Experimental verification of the calculation of the ring magnet with a trapezoidal section by superposition method. 572
- Тищенко А.А., Зоркин А.Я., Мясников А.С., Тищенко О.Д., Приходько М.А.** Металлокерамические и металлосплавные катоды в мощных амплитронах. 576
- Tishchenko A. A., Zorkin A.Ya., Myasnikov A.S., Tishchenko O.D., Prikhodko M.A.** Metallophone and metal-ceramic cathodes for powerful amplitron. 576

- Биленко Д.И., Терин Д.В., Белобровая О.Я., Галушка И.В., Жаркова Э.А., Полянская В.П., Сидоров В.И., Ягудин И.Т.** Трансформация ИК-спектров пористого кремния при воздействии малых доз гамма-излучения.
Bilenko D.I., Terin D.V., Belobrovaya O.Ya., Galushka I.V., Zharkova E.A., Polyanskaya V.P., Sidorov V.I., Yagudin I.T. Effect of low doses of gamma radiation on the transformation IR spectra of porous silicon. 580
- Тимергалина Г.В., Никишин Т.П., Денисов Е.С., Нигматуллин Р.Р.** Применение новых методов статистики к анализу измерительных сигналов триангуляционных дальнометров.
Timergalina G.V., Nikishin T.P., Denisov E.S., Nigmatullin R.R. Application of new statistical methods for triangular sensor signal analysis. 584
- Тригорлый С.В., Джема Д.В., Лаврентьев В.А.** Численное моделирование и оптимизация термообработки диэлектриков в СВЧ-установках лучевого типа методического действия.
Trigorly S.V., Djema D.V., Lavrentyev V.A. Numerical modelling and optimization of heat treatment of dielectrics in the microwave oven installations of beam type of methodical action. 590
- Фетисов Е.А., Федирко В.А., Тимофеев А.Е.** Исследование теплового ИК-фотоприемника на вакуумной микро/наноэлектромеханической системе с нестационарным термоэлектрическим эффектом.
Fetisov E.A., Fedirko V.A., Timofeev A.E. Study of thermal IR sensor on the base of vacuum micro /nanoelectromechanical system with non-stationary thermocouple's seebeck effect. 596
- Вахнина В.В., Кувшинов А.А., Черненко А.Н.** Импликативная алгебра выбора в задачах моделирования статических преобразователей.
Vakhnina V.V., Kuvshinov A.A., Chernenko A.N. Implicative algebra selection in the problems of static converters modelling. 602
- Вахнина В.В., Кувшинов А.А., Черненко А.Н.** Линеаризация передаточных характеристик «информационный вход - силовой выход» широтно-импульсных преобразователей.
Vakhnina V.V., Kuvshinov A.A., Chernenko A.N. The linearization of transfer characteristic «information input - power output» of pulse-width converters. 607
- Вахнина В.В., Кувшинов А.А., Черненко А.Н.** Фототиристорное управление режимом заземления нейтрали силового трансформатора для ограничения геоиндуцированных токов.
Vakhnina V.V., Kuvshinov A.A., Chernenko A.N. Photthyristor control of neutral grounding mode of power transformers for limitations of geomagnetically induced currents. 610
- Степанов Д.С., Чеботарев А.В., Школьников Э.Я.** Исследование динамики плазмы в резонаторе источника ионов водорода с помощью траекторной модели.
Stepanov D.S., Chebotarev A.V., Shkolnikov E.Ya. Plasma dynamic research in the resonator of hydrogen ion source by trajectory model. 614

- Степанов Д.С., Чеботарев А.В., Школьников Э.Я.** Магнитное поле СВЧ-источника ионов на ЭЦР портативного нейтронного генератора.
Stepanov D.S., Chebotarev A.V., Shkolnikov E.Ya. Magnetic field of microwave ECR ion source of portable neutron generator. 617
- Степанов Д.С., Чеботарев А.В., Школьников Э.Я.** Электромагнитное поле в резонаторе источника ионов нейтронного генератора.
Stepanov D.S., Chebotarev A.V., Shkolnikov E.Ya. Electromagnetic field in the resonator of neutron generator's hydrogen ion source. 620
- Резчиков А.Ф., Голембиовский Ю.М., Костерев А.А.** Адаптивные преобразовательные сети на базе автономных инверторов напряжения.
Rezhnikov A.F., Golembiovskiy Yu.M., Kosterev A.A. Adaptive transform network based of autonomous voltage inverters. 625
- Чередов А.И., Щелканов А.В.** Преобразователь «напряжение-частота» на основе акустоэлектрического эффекта.
Cheredov A. I., Shchelkanov A. V. Voltage-to-frequency converter based on acoustoelectric effect. 633
- Скворцов А.А., Корячко М.В., Пшонкин Д.Е.** Пережигание алюминиевых пленок на кремнии электрическими импульсами.
Skvortsov A.A., Koryachko M.V., Pshonkin D.E. Phase transitions on silicon surfaces with local surface heating. 638
- Скворцов А.А., Корячко М.В., Скворцов П.А.** К вопросу о миграции расплавленных зон по поверхности полупроводника.
Skvortsov A.A., Koryachko M.V., Skvortsov P.A. On the migration of the melted areas on the surface of the semiconductor. 642
- Юдина В.О., Архангельский Ю.С.** Термообработка в толкательной СВЧ-электротермической установке на базе камеры с бегущей волной.
Yudina V.O., Arkhangelskiy Yu.S. Heat treatment in pushing microwave electrothermal installations based camera traveling wave. 648
- Юдина В.О., Архангельский Ю.С.** Эффективность конвейерной СВЧ-электротермической установки.
Yudina V.O., Arkhangelskiy Yu.S. Performance conveyor microwave electrothermal. 651
- Бржозовский Б.М., Бровкова М.Б., Янкин И.Н.** Выделение закономерной составляющей из сигнала колебательного процесса на основе анализа фазовых траекторий.
Brgozovsky B.M., Brovkova M.B., Yankin I.N. Separation of a regular component from oscillatory process signal based on the analysis of phase trajectories. 654
- Румянцев К.В., Дитятев А.А., Торгованов А.И.** Измерения фазовых шумов с использованием метода цифровой фазовой демодуляции (Анализатор фазовых шумов и тестер ГУН-генераторов R&S FSWP компании Rohde & Schwarz (Германия)) 659

