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

УДК 621.365.5

В.Н. Нефедов, А.В. Мамонтов, В.В. Афанасьев
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
г. Москва, e-mail:vnefedov@hse.ru

МИКРОВОЛНОВЫЙ МЕТОД ОТВЕРЖДЕНИЯ ТРУБ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

V.N. Nefedov, A.V. Mamontov, V.V. Afanasyev
National Research University «Higher School of Economics», Moscow

MICROWAVE METHOD OF POLYMERIC COMPOSITE PIPES CURING

Theoretical and experimental results of curing of polymer composite pipes with the use of microwave radiation energy are presented. The results of studies on the accelerated curing of polymer composite pipes with diameter of 2000 mm, thickness of 36 mm at a temperature of +200°C and at anelectromagnetic field frequency oscillation of 2450 MHz and the output microwave power of 115 kW in a beam-type microwave device are given. The temperature deviation from the nominal value on the outer surface of the pipe is absent, and in the thickness of pipe does not exceed 5°C. A method of composite pipes curing can reduce energy costs, increase productivity and improve working conditions of staff.

В России и в других развитых странах широкое распространение получило применение композиционных полимерных труб для систем водоснабжения, в коммунальном и сельском хозяйстве, нефтяном и дорожном строительстве. Эти трубы обладают высокой химической стойкостью, низкой теплопроводностью и простотой монтажных работ, выдерживают большое давление, а экологические и санитарно-гигиенические свойства позволяют их использование для питьевой воды.

Традиционные методы отверждения труб из полимерных композиционных материалов связаны как с их нагревом до заданной температуры с использованием электрических нагревателей - тэнов, так и поддержанием этой температуры материала трубы в течение времени, необходимого до отверждения материала с учётом теплоотдачи в окружающую среду.

Микроволновый метод [1-4], по сравнению с традиционными методами тепловой обработки полимерных композиционных труб, имеет следующие основные преимущества:

- за счёт объёмного характера нагрева труб из полимерных композиционных материалов происходит ускорение технологических процессов в несколько раз;

- объёмный характер нагрева труб из композиционного материала не зависит от его теплопроводности и не приводит к появлению внутренних напряжений и других механических дефектов внутренней структуры изделий;

- технологический процесс отверждения композиционных труб не обладает инерционностью, что позволяет его автоматизировать;

- микроволновое излучение не нагревает окружающее пространство - воздух, что позволяет существенно экономить энергетические затраты;

- если обрабатываемый материал расположен между двумя оправками, выполненными из радиопрозрачного и теплоизоляционного материала, например, фторопласта, то можно не учитывать теплоотдачу в окружающее пространство, что также приводит к экономии энергетических затрат на поддержание в материале трубы заданной температуры до её отверждения из-за эффекта термоса.

Реализовать технологический процесс отверждения труб из полимерного композиционного материала диаметром 2000 мм и толщиной 36 мм целесообразно с использованием микроволновой установки лучевого типа [5].

Микроволновая установка непрерывного действия имеет следующие габаритные размеры: общая длина микроволновой установки 8000 мм, длина рабочей камеры 5000 мм, диаметр рабочей камеры 2700 мм, по обеим сторонам рабочей камеры расположены шлюзовые камеры, каждая длиной 1500 мм.

Параметры композиционного материала: действительная часть относительной диэлектрической проницаемости материала трубы $\varepsilon'=4,5$ при температуре +200°С, мнимая часть относительной диэлектрической проницаемости трубы $\varepsilon''=0,18$ при +200°С, плотность материала 1900 кг/м^3, теплоёмкость материала трубы 0,84 кДж/(кг·К); масса материала трубы в рабочей камере составляет 2147 кг; мощность, необходимая на нагрев трубы из композиционного материала от температуры +20°С до температуры +200°С соответствует 115 кВт за время обработки трубы 47 мин; коэффициент теплопроводности 0,46 Вт/(м·°С).

Для реализации технологического процесса на рабочей камере расположены 144 источника микроволновой энергии. Максимальная выходная мощность каждого источника микроволновой энергии составляет 0,8 кВт.

Труба из полимерного композиционного материала, толщиной 36 мм наматывается на оправку диаметром 1928 мм выполненную из фторопласта, которая вращается с определённой угловой скоростью вокруг своей оси. Материал движется через микроволновую установку со скоростью 6,4 м/ч между двух оправок в виде труб, выполненных из фторопласта. Внешняя труба имеет внутренний диаметр 2000 мм для того,

чтобы не учитывать теплоотдачу в окружающее пространство и поддерживать заданную температуру для отверждения материала трубы в шлюзовой камере.

Рабочая камера длиной 5000 мм и диаметром 2700 мм расположена между двумя шлюзами, каждый из которых имеет длину 1500 мм и служит для предотвращения выхода микроволнового излучения из микроволновой установки для обеспечения безопасной работы обслуживающего персонала.

В качестве источника микроволновой энергии использован источник, созданный на базе широко распространённых комплектующих. Источник микроволновой энергии имеет массу 12 кг и габаритные размеры: длина – 400 мм; ширина – 200 мм; высота – 200 мм. Вывод микроволновой энергии из источника осуществляется с использованием волновода поперечным сечением 72×34 мм на основном типе волны H_{10}, а раскрыв волновода используется в качестве излучающей антенны.

При расчёте диаграммы излучения из раскрыва прямоугольного волновода использован метод Гюйгенса – Кирхгофа [5].

Для того, чтобы обеспечить равномерное распределение температуры на поверхности трубы из композиционного материала, расположенной на расстоянии 350 мм от цилиндрической поверхности рабочей камеры, было выбрано двенадцать поперечных сечений, в каждом из которых по окружности располагалось 12 источников СВЧ - энергии под углом 30° друг относительно друга. Расстояние между источниками вдоль оси рабочей камеры составляло 400 мм. Отклонение рассчитанного значения температуры от номинального значения на внешней поверхности трубы отсутствовало.

Для поглощения микроволнового излучения, выходящего из рабочей камеры лучевого типа, внутри шлюзовой камеры на внешнюю фторопластовую трубу намотана трубка из радиопрозрачного материала (поливинилхлорида), заполненная водой. Между трубками и внешней поверхностью шлюзовой камеры, выполненной в виде цилиндра из металла, в периодической последовательности расположены металлические пластины. Микроволновое излучение, попадая между пластинами, которые имеют электрический контакт с внешней цилиндрической поверхностью шлюзовой камеры, испытывает многократные отражения от этих металлических пластин и поглощается циркулирующей водой в трубках из радиопрозрачного материала.

Шлюзовые камеры соединены с рабочей камерой с помощью специальных фланцев, между которыми имеется пружинная прокладка для предотвращения излучения микроволн в окружающее пространство.

На рис. 1 показано продольное сечение конвейерной микроволновой установки лучевого типа.

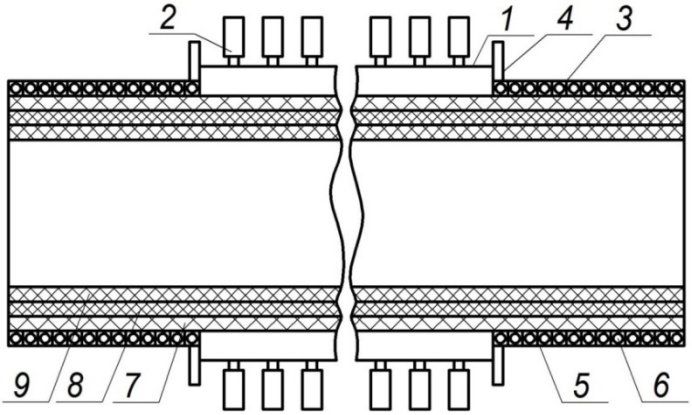

Рис. 1. Продольное сечение конвейерной микроволновой установки лучевого типа для отверждения трубы из полимерного композиционного материала:
1 - цилиндрическая рабочая камера; 2 - источник СВЧ – энергии; 3 - шлюзовая камера; 4 - соединительные фланцы; 5 - контактные пластины;
6 - трубка с водой из поливинилхлорида; 7 - внешняя труба из фторопласта;
8 - труба из полимерного композиционного материала;
9 - внутренняя труба из фторопласта

Экспериментальными исследованиями установлено, что уровень побочных излучений от микроволновой установки не превышал 10 мкВт/см^2. Такой уровень побочных излучений обеспечивал безопасные санитарные нормы для обслуживающего персонала.

На рис. 2 показано поперечное сечение рабочей камеры.

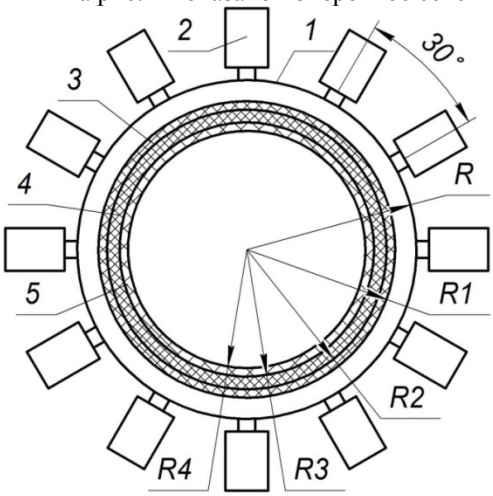

Рис. 2. Поперечное сечение рабочей камеры:
1 - цилиндрическая рабочая камера; 2 - источник СВЧ – энергии; 3 - внешняя труба из фторопласта; 4 - труба из полимерного композиционного материала; 5 - внутренняя труба из фторопласта; R=1350 мм, R1=1035, R2=1000 мм, R3=964 мм, R4=929 мм

Распределение температуры по толщине трубы из полимерного композиционного материала можно рассчитать по формуле [1-5]:

$$T(z) = T(0) \cdot e^{-2\alpha \cdot z}. \quad (1)$$

Здесь *T(z)*- температура материала трубы на расстоянии z от её поверхности; *T(0)* - температура на поверхности трубы +200°С; *α*- постоянная затухания амплитуды напряжённости электрического поля в полимерном композиционном материале, которая в первом приближении определяется выражением [1-5]:

$$\alpha = \frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{\varepsilon''}{\sqrt{\varepsilon'}}. \quad (2)$$

На рис. 3 показаны рассчитанная и экспериментальная зависимости распределения температуры по толщине материала трубы.

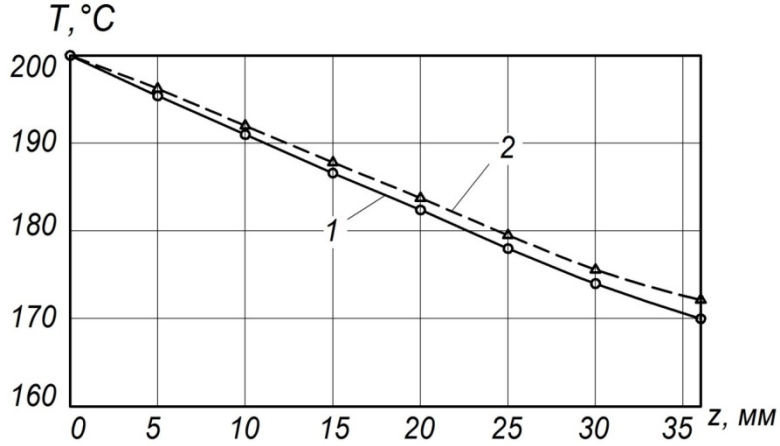

Рис. 3. Рассчитанная (1) и экспериментальная (2) зависимости распределения температуры по толщине материала трубы

Экспериментальные исследования были проведены для аналогичного листового материала толщиной 36 мм. Температура измерялась через каждые 5 мм на внешней и внутренней поверхностях полимерного композиционного материала. На рис. 3 показано измеренное значение температуры на внутренней поверхности листового материала после достижения температуры +200°С на его внешней поверхности. Расхождение рассчитанных и измеренных характеристик распределения температуры не превышало 3°С.

С учётом отражённой мощности отклонение температуры по толщине трубы от номинального значения температуры не превышало 5°С.

Представлены основные параметры микроволновой установки лучевого типа непрерывного действия для отверждения трубы из полимерного композиционного материала диаметром 2000 мм и толщиной 36 мм на частоте колебаний электромагнитного поля 2450 МГц, выходной мощностью 115 кВт при скорости движения трубы 6,4 м/ч.

Микроволновая установка позволяет существенно сократить энергетические затраты на технологический процесс отверждения трубы из полимерного композиционного материала, увеличить производительность.

Отклонение температуры от номинального значения в +200°С на поверхности трубы отсутствовало, а по толщине трубы при нагреве не превышало 5°С.

Уровень побочных излучений от СВЧ-установки не превышал 10 мкВт/см^2 и отвечал необходимым санитарным нормам безопасности для работы обслуживающего персонала.

Библиографический список

1. Мамонтов А.В. Микроволновые устройства термообработки стержневых диэлектрических материалов / А.В. Мамонтов, В.Н. Нефедов, В.П. Симонов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т.8. №10. С. 53-55.

2. Нефедов В.Н. Моделирование СВЧ – устройств для термообработки диэлектрических стержневых материалов / В.Н. Нефедов, И.В. Назаров, М.Ю. Беклемишев // Актуальные проблемы электронного приборостроения: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Саратов: СГТУ, 2012. С. 142-147.

3. Мамонтов А.В. Воздействие концентрированных потоков СВЧ – энергии на процессы полимеризации диэлектрических стержней / А.В. Мамонтов, В.Н. Нефедов // Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине: труды IY межвуз. науч. школы молодых специалистов. М.: МГУ, 2003. С. 101-105.

4. Полимеризация стеклопластиковых труб с использованием концентрированных потоков СВЧ-энергии / Д.А. Лоик, А.В. Мамонтов, Е.В. Никишин [и др.] // Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине: труды IX межвуз. науч. школы молодых специалистов. М.: МГУ, 2008. С. 45-49.

5. Микроволновые технологии / А.В. Мамонтов, В.Н. Нефедов, И.В. Назаров, Т.А. Потапова. М.: ГНУ НИИ ПМТ МИЭМ (ТУ), 2008. 326 с.

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 MH2XA010 for multichannel sensor systems. 96

Васильков М.Ю., Федоров Ф.С., Лашков А.В., Варежников 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., Solomatin 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

Галущак 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 paremeters 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 инжекции в него СВЧ-энергии.
Grigoryan S.V., Kobetz A.K., Yavchunovskaya S.V., Davidovich M.V. Experimental study and field distribution modeling in grove 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., Dementyev S.S. The towers of overhead power lines for «smart» grids. 144

Дрогайцева 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 трапецеидальным 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.
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. 202

Киракосян С.А., Галалу В.Г. Оценка уровня помех на входах аналого-цифровых преобразователей измерительных систем.
Kirakosyan S.A., Galalu V.G. Evaluation of the noise level on analog-to-digital converter's inputs. 208

Самойлов Л.К., Киракосян С.А. Погрешности наложения спектров при дискретизации сигналов с неограниченным спектром.
Samoylov L.K., Kirakosyan S.A. The aliasing errors at sampling signals of sensors with unlimited spectrum. 216

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.
Kozhevnikoff V.Yu., Mashkov I.V. Mathematical modeling of heat microwave dielectric chamber in 3D printer. 236

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.
Sinitsyn N.I., Elkin V.A., Betskii O.V. Detection of structurization of water by microperiodic magnetic fields. 257

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 sensivity 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 aerovideoimages. 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 nanocoating 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 коммутируемого 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., Варежников А.С., Ефремова В.В., Куенбаева В.Р., Дыкин В.С., Сысоев В.В. Флуоресцентная мультизондовая 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 fluorescencent 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., Чечеткин 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 p-i-n 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.
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.
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.
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.
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.
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 наноструктурированых пленок диэлектриков.
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 трапецеидальным сечением методом суперпозиции.
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.
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 дальномеров.
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. Photothyristor 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.
Rezchikov 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. Hate teatment in pushing microwave elecrotermal insttations based camera traveling wave. 648

Юдина В.О., Архангельский Ю.С. Эффективность конвейерной СВЧ-электротермической установки.
Yudina V.O., Arkhangelskiy Yu.S. Perfomance conveoyr microwave electrotermal. 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

Научное издание

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ АПЭП-2016

МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 2

Редактор О.А. Панина
Компьютерная верстка
Н.А. Акафьева, Е.С. Ермакова
Дизайн Р.Ю. Кузнецов

Подписано в печать 16.09.2016 Формат 60x84 1/16
Бум. тип. Усл. печ. л. 39,5 (42,5) Уч.-изд. л. 42,0
Тираж 200 экз. Заказ № 12/15096.
Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.
410054 г. Саратов, ул. Политехническая, 77
Отпечатано в ООО «Амирит»
410003, г. Саратов, ул. Чернышевского, 88