

# ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

## СЕРИЯ 1 СВЧ-ТЕХНИКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

---

Выпуск 1(532)

2017

Издается с 1950 г.

---

*Главный редактор*

д.т.н. **А.А. Борисов**

Редакционная коллегия:

к.т.н. **С.А. Зайцев** (*зам. главного редактора*),  
к.т.н. **С.В. Щербаков** (*зам. главного редактора*),  
к.т.н. **В.И. Бейль**, **Ю.А. Будзинский**, к.ф.-м.н. **А.В. Галдецкий**,  
**Б.Ф. Горбик**, д.т.н. **А.Д. Закурдаев**, к.т.н. **Н.П. Зубков**,  
д.т.н. **С.С. Зырин**, к.т.н. **А.С. Котов**,  
д.т.н. **П.В. Куприянов**, к.т.н. **В.Г. Лапин**,  
д.т.н. **М.И. Лопин**, д.т.н. **Н.А. Лябин**, **В.М. Малыщик**,  
д.т.н., профессор **П.П. Мальцев** (ИСВЧ ПЭ РАН), к.т.н. **П.М. Мелешкевич**,  
д.т.н., профессор **В.П. Мещанов** (ОАО «ЦНИИИА»),  
к.т.н. **А.Г. Михальченко**,  
д.т.н. **С.П. Морев** (ФГУП «НПП «Торий»), **О.А. Морозов** (ЗАО «НПП «Магратеп»),  
к.т.н. **В.Ю. Мякиньюков**, д.ф.-м.н. **А.И. Панас**,  
д.ф.-м.н. **А.Б. Пашковский**, к.ф.-м.н. **С.А. Плешанов**, **Е.Н. Покровский**,  
к.т.н. **О.В. Поливникова**, к.т.н. **А.В. Потапов**,  
д.т.н., профессор **Р.А. Силин**, д.т.н. **К.Г. Симонов**,  
**В.П. Стебунов** (*ответственный секретарь*),  
д.т.н. **М.М. Трифонов** (ЗАО «НПП «Исток-Система»),  
д.т.н., профессор **Н.Д. Урсуляк**

Журнал зарегистрирован Министерством Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций (свидетельство ПИ № ФС 77-24651 от 6 июня 2006 г.).

Решением Президиума Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации с 29 декабря 2015 г. научно-технический сборник «Электронная техника», серия 1 «СВЧ-техника», издаваемый АО «НПП «Исток» им. Шокина» с 1950 года, включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук».

---

© АО «НПП «Исток» им. Шокина», 2016 г.

# ELEKTRONNAYA TEKHNIKA

(Electronic Engineering)

SERIES 1

## SVCH-TEKHNIKA

(Microwave Engineering)

COLLECTION OF RESEARCH & TECHNICAL ARTICLES

---

Issue 1(532)

2017

Founded in 1950 г.

---

*Editor-in-chief*

D.T.Sc. **A.A. Borisov**

*Editorial staff:*

C.T.Sc. **S.A. Zaitsev** (deputy editor-in-chief),  
C.T.Sc. **S.V. Scherbakov** (deputy editor-in-chief),  
C.T.Sc. **V.I. Beyl'**, U.A. **Budzinsky**, C.Ph.M.Sc. **A.V. Galdetsky**,  
**B.F. Gorbik**, D.T.Sc. **A.D. Zakurdaev**, C.T.Sc. **N.P. Zubkov**,  
D.T.Sc. **S.S. Zyrin**, C.T.Sc. **A.S. Kotov**, D.T.Sc. **P.V. Kupriyanov**,  
C.T.Sc. **V.G. Lapin**, D.T.Sc. **M.I. Lopin**, D.T.Sc. **N.A. Lyabin**, **V.M. Malyschik**,  
D.T.Sc., professor **P.P. Maltsev** (IMWF SE RASc), C.T.Sc. **P.M. Meleshkevich**,  
D.T.Sc., professor **V.P. Meschanov** (JSC «TSNIIA»),  
C.T.Sc. **A.G. Mikhailchenkov**,  
D.T.Sc. **S.P. Morev** (FSUE «RPC «Torij»), **O.A. Morozov** (JSC «RPC «Magratep»),  
C.T.Sc. **V.U. Myakinkov**, D.Ph.M.Sc. **A.I. Panas**,  
D.Ph.M.Sc. **A.B. Pashkovsky**, C.Ph.M.Sc. **S.A. Pleshanov**, **E.N. Pokrovsky**,  
C.T.Sc. **O.V. Polivnikova**, C.T.Sc. **A.V. Potapov**, D.T.Sc., professor **R.A. Silin**,  
D.T.Sc. **K.G. Simonov**, **V.P. Stebunov** (executive secretary),  
D.T.Sc. **M.M. Trifonov** (JSC RPC «Istok-System»),  
D.T.Sc., professor **N.D. Ursulyak**

The journal is registered by the Ministry on mass media of the Russian Federation (certificate ПИ № ФС 77-24651 date June 6, 2006).

By the Resolution of the Presidium of the Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated December 29, 2015 the scientific and technical collection «Elektronnaya Tekhnika», series 1 «SVCH-tekhnika» being published in JSC «RPC «Istok» named after Shokin» since 1950, has been reincluded into the «List of reviewed scientific publications in which the principal scientific results for candidate's thesis and doctoral thesis must be published»

## СОДЕРЖАНИЕ

### Технология и материаловедение

<i>Семёнов М.Г., Перишина Л.К., Подуваев В.А., Семенов А.С.</i> – Современные тенденции развития полосковых ферритовых развязывающих приборов S- и X-диапазонов .....	6
---	---

### Твердотельная электроника

<i>Баранов А.В.</i> – Частные и обобщенные эквивалентные трехточечные схемы СВЧ-автогенераторов.....	18
<i>Латин В.Г.</i> – Перспективы развития и применения ДА-рНЕМТ в СВЧ МИС .....	26
<i>Карасев М.С., Далингер А.Г., Шацкий С.В., Жерновенков В.А.</i> – Перспективный многофункциональный приемопередающий модуль АФАР X-диапазона .....	45
<i>Приступчик Н.К., Куликова И.В., Легенкин С.А.</i> – Моделирование систем подогрева СВЧ-аппаратуры для Арктической зоны .....	49
<i>Маковецкая А.А.</i> – Особенности рассеяния тепла в полевых транзисторах на гетероструктурах с донорно-акцепторным легированием.....	59

### Электривакуумные приборы

<i>Симонов К.Г., Правдиковская Г.И., Алхименко Е.А., Перминов И.Г., Ключников Н.А., Гришин С.И., Атюнина С.А., Неретина Т.А.</i> – Волноводные баночные СВЧ-окна нового типа для сверхмощных СВЧ-приборов и ускорителей.....	66
<i>Калина В.Г., Будзинский Ю.А., Быковский С.В.</i> – Циклотронное защитное устройство. Модель с автотрансформатором.....	74

### Катоды и материалы

<i>Шестеркин В.И., Бессонов Д.А., Ерзов С.В., Мельников В.Д., Шалаев П.Д., Шумихин К.В., Косырев В.С.</i> – Исследование стойкости к механическим воздействиям острых автоэмиссионных катодов из стеклоуглерода с большим аспектным отношением.....	84
---	----

### Медицинская электроника

<i>Казаринов К.Д., Баранова О.А., Полников И.Г., Чеканов А.В.</i> – Изучение возможности применения наночастиц в радиочастотной онкотермии .....	89
--	----

## CONTENTS

### **Technology and material science**

- Semenov M.G., Pershina L.K., Poduvaev V.A., Semenov A.S.* – Modern trends of developing S- and X-bands stripline ferrite decouplers..... 6

### **Solid-state electronics**

- Baranov A.V.* – Particular and generalized equivalent three-point circuits of microwave self-excited oscillators ..... 18
- Lapin V.G.* – Prospects of development and application of DA-pHEMT in microwave MIC ..... 26
- Karasev M.S., Dalinger A.G., Shatsky S.V., Zhernovenkov V.A.* – X-band perspective multi-functional transmitter/receiver active phased array module ..... 45
- Pristupchik N.K., Kulikova I.V., Legenkin S.A.* – Simulation of the microwave apparatus heating systems designed for Arctic zone ..... 49
- Makovetskaya A.A.* – DA-pHEMT heat dissipation features ..... 59

### **Electrovacuum devices**

- Simonov K.G., Pravdikovskaya G.I., Alkhimenko E.A., Perminov I.G., Klyuchnikov N.A., Grishin S.I., Atyunina S.A., Neretina T.A.* – Waveguide pillbox microwave windows of a new type for super high power microwave devices and accelerators ..... 66
- Kalina V.G., Budzinsky U.A., Bykovsky S.V.* – Cyclotron protective device. Model with autotransformer ..... 74

### **Cathodes and materials**

- Shesterkin V.I., Bessonov D.A., Yerzov S.V., Melnikov V.D., Shalaev P.D., Shumikhin K.V., Kosyrev V.S.* – The investigation of resistance to mechanical stress of pointed field-emission cathode made of vitrified carbon with a large aspect ratio ..... 84

### **Medical electronics**

- Kazarinov K.D., Baranova O.A., Polnikov I.G., Chekanov A.V.* – Studying the possibility of using nanoparticles in radio-frequency oncothermia ..... 89

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПОЛОСКОВЫХ ФЕРРИТОВЫХ РАЗВЯЗЫВАЮЩИХ ПРИБОРОВ S- И X-ДИАПАЗОНОВ

М. Г. Семёнов, Л. К. Першина, В. А. Подуваев, А. С. Семенов

*АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино*

Рассмотрены две устойчивые тенденции спроса на разработки полосковых ферритовых развязывающих приборов: приборов высокого уровня мощности и приборов с объёмными микрополосковыми входами, возбуждаемых через планарные выходы усилителей на монолитных интегральных схемах. Представлены результаты разработки ряда приборов S- и X-диапазонов. На их примерах рассмотрены конструктивно-технологические задачи, которые необходимо решать в процессе разработки, показаны способы их решения.

*КС: ферритовые полосковые вентили, циркуляторы и X-циркуляторы, высокий уровень мощности, прямые потери, обратные потери, развязка, коэффициент стоячей волны, ферритовая подложка, «квазикопланарная» линия, прошивка и металлизация отверстий*

## MODERN TRENDS OF DEVELOPING S- AND X-BANDS STRIPLINE FERRITE DECOUPLERS

M. G. Semenov, L. K. Pershina, V. A. Poduvaev, A. S. Semenov

*JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino*

Two stable trends of demand for developing stripline ferrite decouplers: high power level devices and devices with volumetric microstrip inputs generated via planar outputs of amplifiers on monolithic integrated circuits, have been considered. The results of developing a set of S- and X-bands devices are presented. On their examples the structural and technological tasks which are necessary to be solved in the process of development are considered, the ways of their solution are shown.

*Keywords: ferrite stripline isolators, circulators and X-circulators, high power level, direct loss, return loss, decoupling, standing wave ratio, ferrite substrate, «quasicoplanar» line, hole drilling and metallization*

**ЧАСТНЫЕ И ОБОБЩЕННЫЕ  
ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ТРЕХТОЧЕЧНЫЕ СХЕМЫ  
СВЧ-АВТОГЕНЕРАТОРОВ**

**А. В. Баранов**

*ОАО «НПП «Салют», г. Нижний Новгород*

Выявлены условия взаимности эквивалентных преобразований обобщенных трехточечных схем автогенераторов с параллельной и последовательной обратной связью. Установлены соотношения между реактивными элементами эквивалентных схем трехточечных генераторов с последовательной обратной связью. На основе анализа обобщенных схем автогенераторов определено место частных эквивалентных трехточечных схем. Приведены примеры частных эквивалентных схем генераторов.

*КС: СВЧ-автогенератор, эквивалентная трехточечная схема*

**PARTICULAR AND GENERALIZED  
EQUIVALENT THREE-POINT CIRCUITS OF MICROWAVE  
SELF-EXCITED OSCILLATORS**

**A. V. Baranov**

*JSC «RPE «Salut», Nizhny Novgorod*

The reciprocity conditions of equivalent conversions of generalized three-point circuits of self-excited oscillators with parallel and sequential feedback have been identified. The correlations between reactive elements of equivalent circuits of three-point oscillators with sequential feedback have been established. On the basis of analysis of generalized circuits of self-excited oscillators the place of particular equivalent three-point circuits was determined. The examples of particular equivalent circuits of oscillators are presented.

*Keywords: microwave self-excited oscillator, equivalent three-point circuit*

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ DA-pHEMT В СВЧ МИС

**В. Г. Лапин**

*АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино*

Проанализированы первые результаты разработки мощных полевых транзисторов на арсенидгаллиевых гетероструктурах с квантовой ямой и дополнительными потенциальными барьерами на основе слоев с разными типами легирования, оптимизированными для уменьшения поперечного пространственного переноса электронов и увеличения эффекта размерного квантования. Транзисторы продемонстрировали рост выходной мощности почти в два раза при длине трапециевидного затвора 0,4...0,5 мкм и общей ширине затвора транзистора 0,8 мм на частоте 10 ГГц в непрерывном режиме работы. При этом коэффициент усиления превысил 9,5 дБ при удельной выходной мощности более 1,6 Вт/мм и КПД по добавленной мощности до 50 %. Проведена оценка перспектив развития данного типа приборов, в том числе в составе монолитных схем с цифровыми GaAs-модулями.

*КС: донорно-акцепторное легирование, поперечный пространственный перенос электронов, потенциальный барьер*

## PROSPECTS OF DEVELOPMENT AND APPLICATION OF DA-pHEMT IN MICROWAVE MIC

**V. G. Lapin**

*JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino*

The first results of developing high power GaAs pHEMTs with a quantum well and additional potential barriers based on layers with different types of doping optimized for reducing real-space electron transfer and increasing quantum size effect have been analyzed. High power transistors with trapezium-shape gate length about 0.4...0.5  $\mu\text{m}$  and 0.8 mm width demonstrated specific output power > 1.6 W/mm, gain > 9.5 dB and efficiency – up to 50 % at 10 GHz. The estimation of development prospects for this type of devices including their integration in monolithic circuits with digital GaAs modules has been made.

*Keywords: donor-acceptor doping, real-space electron transfer, potential barrier*

**ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ  
ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩИЙ МОДУЛЬ АФАР X-ДИАПАЗОНА**

**М. С. Карасев, А. Г. Далингер, С. В. Шацкий, В. А. Жерновенков**

*АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино*

Рассмотрен перспективный многофункциональный приемопередающий модуль (ППМ) АФАР X-диапазона. Обосновано использование многофункциональной монолитной интегральной схемы в составе модуля. Показаны технологические особенности ППМ. Приведены результаты экспериментальной проверки выходных электрических параметров разработанного ППМ.

*КС: многофункциональный приемопередающий модуль, АФАР, X-диапазон, технологические особенности, выходные электрические параметры*

**X-BAND PERSPECTIVE MULTIFUNCTIONAL  
TRANSMITTER/RECEIVER ACTIVE PHASED ARRAY MODULE**

**M. S. Karasev, A. G. Dalinger, S. V. Shatsky, V. A. Zhernovenkov**

*JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino*

X-band perspective multifunctional transmitter/receiver active phased array module has been considered. The use of multifunctional monolithic integrated circuit within the module structure has been proved. Technological features of transmitter/receiver module are shown. The results of experimental tests of the output electric parameters of the developed transmitter/receiver module are presented.

*Keywords: multifunctional transmitter/receiver module, active phased array, X-band, technological features, output electric parameters*



## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПОДОГРЕВА СВЧ-АППАРАТУРЫ ДЛЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Н. К. Приступчик, И. В. Куликова, С. А. Легенкин

*АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино*

Статья посвящена сравнительному анализу систем подогрева приемного блока радиолокационного модуля, предназначенного для эксплуатации в условиях низких температур (порядка  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Необходимо обеспечить прогрев всех элементов конструкции устройства до  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  – нижней границы рабочего температурного диапазона за время не более 40 мин. В работе рассмотрены конструкция приемника, а также две альтернативные системы подогрева. На основе результатов численного анализа процессов нестационарного тепло- и массопереноса проведено сравнение рассмотренных систем подогрева, выявлены некоторые ограничения, накладываемые на рассеиваемую мощность используемых нагревательных элементов и время прогрева.

*КС: СВЧ-аппаратура, тепловой анализ, Арктическая зона, естественная конвекция, метод конечных элементов, система подогрева*

## SIMULATION OF THE MICROWAVE APPARATUS HEATING SYSTEMS DESIGNED FOR ARCTIC ZONE

N. K. Pristupchik, I. V. Kulikova, S. A. Legenkin

*JSC «RPC «Istok » named after Shokin», Fryazino*

The paper is devoted to the comparative analysis of the microwave receiver heating systems. Since ambient air temperature in the Arctic zone may fall below  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , one must provide warming of the device components up to  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , which is the bottom edge of the temperature range of operation. The apparatus must be warmed-up not longer than 40 minutes. In this paper we briefly consider the design of the microwave receiver and two alternative heating systems. According to results of the numerical analysis of the non-stationary heat and mass transfer processes the comparison of the considered heating systems have been made. Some limitations applied to the heating elements dissipation power and warming time have been revealed.

*Keywords: microwave devices, thermal management, Arctic zone, natural convection, finite-element method, heating system*

## ОСОБЕННОСТИ РАССЕЯНИЯ ТЕПЛА В ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ НА ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ С ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ

**А. А. Маковецкая**

*АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино*

Проведен анализ физических механизмов, определяющих жесткую локализацию домена сильного поля и области интенсивного тепловыделения у стокового края затвора гетероструктурных полевых транзисторов. Показано, что данный эффект, принципиально отличающий традиционные гетероструктурные полевые транзисторы от гомоструктурных, связан с поперечным пространственным переносом электронов между слоями гетероструктуры; что в полевых транзисторах на гетероструктурах с донорно-акцепторным легированием из-за существенного уменьшения роли поперечного пространственного переноса возможна перестройка статического домена, как и в обычных гомоструктурных транзисторах.

*КС: донорно-акцепторное легирование, поперечный пространственный перенос электронов, гетероструктурный полевой транзистор*

## DA-pHEMT HEAT DISSIPATION FEATURES

**A. A. Makovetskaya**

*JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino*

The physical mechanisms that determine the tough localization of high-field domain and region of intensive heat generation at the drain edge of the gate of heterostructure field-effect transistors have been analysed. It is shown that this effect that fundamentally differs traditional heterostructure field-effect transistors from homosturture ones is connected with a real space transfer of electrons between heterostructure layers. It is shown that for strong real space transfer reduction in DA-pHEMT similar simple FET static domain restructuring is possible.

*Keywords: donor-acceptor doping, real space transfer, pHEMT*

**ВОЛНОВОДНЫЕ БАНОЧНЫЕ СВЧ-ОКНА НОВОГО ТИПА  
ДЛЯ СВЕРХМОЩНЫХ СВЧ-ПРИБОРОВ И УСКОРИТЕЛЕЙ**

**К. Г. Симонов, Г. И. Правдиковская, Е. А. Алхименко, И. Г. Перминов,  
Н. А. Ключников, С. И. Гришин, С. А. Атюнина, Т. А. Неретина**

*АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино*

Представлены новые баночные окна ввода/вывода СВЧ-мощности, работающие на высшем типе колебаний  $E_{11}$  и способные пропускать средние мощности в десятки киловатт при импульсной мощности более 5 МВт. Новые окна изготовлены на основе толстостенной экологически чистой алюмооксидной керамики большого диаметра.

*КС: баночное окно, ввод/вывод СВЧ-мощности, высший тип колебаний  $E_{11}$ , толстостенная экологически чистая алюмооксидная керамика большого диаметра*

**WAVEGUIDE PILLBOX MICROWAVE WINDOWS OF A NEW TYPE  
FOR SUPER HIGH POWER MICROWAVE DEVICES AND ACCELERATORS**

**K. G. Simonov, G. I. Pravdikovskaya, E. A. Alkhimenko, I. G. Perminov,  
N. A. Klyuchnikov, S. I. Grishin, S. A. Atyunina, T. A. Neretina**

*JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino*

New pillbox windows for microwave power input/output working at the highest oscillation mode  $E_{11}$  which are capable to pass tens of kilowatts mean power at pulse power over 5 MW are presented. New windows have been manufactured based on thick-wall ecologically clean alumina ceramics of large diameter.

*Keywords: pillbox window, microwave power input/output, the highest oscillation mode  $E_{11}$ , thick-wall ecologically clean alumina ceramics of large diameter*

**ЦИКЛОТРОННОЕ ЗАЩИТНОЕ УСТРОЙСТВО.  
МОДЕЛЬ С АВТОТРАНСФОРМАТОРОМ**

**В. Г. Калина, Ю. А. Будзинский, С. В. Быковский**

*АО «НПП «Исток» им. Шокина», г. Фрязино*

Предложены структура и методика расчёта *RLC*-модели циклотронного защитного устройства с автотрансформатором сопротивления нагрузки. Показана необходимость уменьшения собственной частоты резонатора относительно центральной частоты полосы пропускания. Приведена методика построения модели с пульсирующей частотной характеристикой. Даны графики расчёта собственной частоты резонатора и коэффициента включения автотрансформатора.

*КС: защита приёмных устройств, СВЧ циклотронные приборы, RLC-моделирование электромагнитных структур, СВЧ-автотрансформатор*

**CYCLOTRON PROTECTIVE DEVICE.  
MODEL WITH AUTOTRANSFORMER**

**V. G. Kalina, U. A. Budzinsky, S. V. Bykovsky**

*JSC «RPC «Istok» named after Shokin», Fryazino*

The structure and calculation method of *RLC* model of cyclotron protective device with load resistance autotransformer have been proposed. The necessity of decreasing resonator eigenfrequency relative to pass band central frequency is shown. The methodology of building model with pulsating frequency characteristics is presented. The plots of calculating resonator eigenfrequency and autotransformer turn on ratio are given.

*Keywords: receiving device protection, microwave cyclotron devices, RLC modeling of electromagnetic structures, microwave autotransformer*

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ  
ОСТРИЙНЫХ АВТОЭМИССИОННЫХ КАТОДОВ ИЗ СТЕКЛОУГЛЕРОДА  
С БОЛЬШИМ АСПЕКТНЫМ ОТНОШЕНИЕМ**

**В. И. Шестеркин, Д. А. Бессонов, С. В. Ерзов, В. Д. Мельников  
П. Д. Шалаев, К. В. Шумихин, В. С. Косырев**

*АО «Научно-производственное предприятие «Алмаз», г. Саратов*

Представлены результаты испытаний на устойчивость к вибрационным и ударным нагрузкам с большим ускорением острижных автоэмиссионных катодов из стеклоуглерода марки СУ-2000 с аспектным отношением геометрических размеров до 360 единиц, сформированных методом микроразмерного лазерного фрезерования. Экспериментально подтверждена возможность применения данных автоэмиссионных катодов в электронных устройствах, подвергающихся воздействию синусоидальной вибрации с амплитудой ускорения 200 (20) м/с<sup>2</sup> и одиночных ударов с пиковым ударным ускорением 1000 (100) м/с<sup>2</sup> в процессе их эксплуатации.

*КС: автоэмиссионный катод, стеклоуглерод, аспектное отношение микроострий, вибропрочность*

**THE INVESTIGATION OF RESISTANCE TO MECHANICAL STRESS  
OF POINTED FIELD-EMISSION CATHODE MADE OF VITRIFIED CARBON  
WITH A LARGE ASPECT RATIO**

**V. I. Shesterkin, D. A. Bessonov, S. V. Yertzov, V. D. Melnikov,  
P. D. Shalaev, K. V. Shumikhin, V. S. Kosyrev**

*JSC «Research & Production Enterprise «Almaz», Saratov*

Pointed field-emission cathodes made of CY-2000 vitrified carbon with geometry aspect ratio up to 360 units, which were formed by microdimensional laser milling method, have been tested for resistance to vibrational and shock loads. Under the influence of sinusoidal vibrations with the acceleration 1000 (100) m/c<sup>2</sup> destructions of micropoints were not detected.

*Keywords: field-emission cathode, vitrified carbon, micropoints aspect ratio, vibration strength*

## ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ В РАДИОЧАСТОТНОЙ ОНКОТЕРМИИ

К. Д. Казаринов, О. А. Баранова, И. Г. Полников, А. В. Чеканов

*ФИРЭ им. В. А. Котельникова РАН*

Представлены результаты анализа существующих литературных данных, а также собственных исследований по изучению влияния наночастиц на физиологическое состояние клеток. В работе отмечена возможная роль наночастиц в изменении поверхностного мембранного потенциала клеток крови, что может привести к электропорации клеточных мембран. Приведены данные по влиянию наночастиц на электродинамические характеристики клеточных суспензий, а также результаты использования наночастиц в радиочастотной термотерапии.

*КС: радиочастотное и СВЧ-излучение, наночастицы металлов, углеродные нанотрубки, термосенсибилизаторы, селективный микроволновой нагрев, клеточные суспензии, поверхностный мембранный потенциал клеток, поглощение радиочастотного излучения, электропорация мембран, диэлектрические свойства нормальной и злокачественной ткани, тепловая цитотоксичность, модулированная электрогипертермия*

## STUDYING THE POSSIBILITY OF USING NANOPARTICLES IN RADIO-FREQUENCY ONCOTHERMIA

K. D. Kazarinov, O. A. Baranova, I. G. Polnikov, A. V. Chekanov

*FIRE named after V. A. Kotelnikov RAS*

The results of existing references analysis as well as our own research on studying the influence of nanoparticles on the cells physiological state have been presented. The possible role of nanoparticles in changing surface membrane potential of blood cells is noted in the paper, it may lead to electroporation of cell membranes. The information of nanoparticles effect on electrodynamic characteristics of cellular suspensions is given, the results of using nanoparticles in radio-frequency thermotherapy are shown.

*Keywords: radio-frequency and microwave radiation, metal nanoparticles, carbon nanotubes, heat sensitizers, selective microwave heating, cellular suspensions, surface membrane potential of blood cells, radio-frequency radiation absorption, membrane electroporation, dielectric properties of normal and malignant tissue, thermal cytotoxicity, modulated electrohyperthermia*