

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

СЕРИЯ 1

СВЧ-ТЕХНИКА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Выпуск 1 (494)

2008

Издается с 1950 г.

Главный редактор
д.т.н. А.Н. Королев

Редакционная коллегия:

к.т.н. **С.А. Зайцев** (зам. главного редактора),
д.т.н. **Б.Н. Авдонин** (зам. главного редактора, ОАО ЦНИИ «Электроника»),
к.т.н. **В.Н. Батыгин**, **Ю.А. Будзинский**, к.ф.-м.н. **А.В. Галдецкий**, **Б.Ф. Горбик**,
С.И. Гришин, д.ф.-м.н. **Б.Ч. Дюбуа**, д.т.н. **С.С. Зырин**, к.т.н. **Ю.А. Кондрашенков**,
к.т.н. **А.С. Котов**, к.т.н. **Е.А. Котюргин**, к.т.н. **П.В. Куприянов**,
к.т.н. **В.В. Лисс**, д.т.н. **М.И. Лопин**, **В.М. Малыщик**, **В.А. Мальцев**,
к.т.н. **П.М. Мелешкевич**, д.ф.-м.н. **А.Б. Пашковский**,
Е.Н. Покровский, к.т.н. **А.В. Потапов**, к.т.н. **С.Е. Рожков**,
д.т.н. **К.Г. Симонов**, **В.П. Стебунов** (ответственный секретарь),
к.т.н. **А.М. Темнов**, д.т.н. **Н.Д. Урсуляк**,
д.т.н. **М.М. Трифонов** (ЗАО НПП «Исток-Система»),
О.А. Морозов (ЗАО НПП «Магратеп»),
к.т.н. **А.Г. Михальченко** (МУП «ДПРН Фрязино»),
д.ф.-м.н. **А.И. Панас** (ИРЭ РАН),
к.т.н. **В.В. Абрамов** (ФГУП СКБ ИРЭ РАН),
А.А. Туркевич (ФГУП «НПП «Циклон-Тест»)

Журнал зарегистрирован Министерством Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций (свидетельство ПИ № ФС 77-24651 от 6 июня 2006 г.) и включен в перечень ВАК (перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук; ред. июль 2007 г.)

© Федеральное государственное унитарное предприятие «НПП «Исток», 2008 г.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Выпуск 1(494)

2008

Технология

- Духновский М.П., Крысов Г.А., Ратникова А.К.* – Металлизация пластин из искусственного CVD-алмаза 3
- Лебедев М.В., Павлова М.А., Мушкаренко Ю.Н.* – Особенности изготовления металло-керамических узлов с высокотемпературными диэлектрическими материалами 8

Материалы

- Каневский Е.И., Казина Г.А., Колпакова Н.Ф., Нечепуренко И.С., Орлова Т.С.* – Долговечность постоянных магнитов 14

Производственно-технический опыт

- Цай П.И., Жуков В.Г., Филатов А.Ю.* – Результаты опытной эксплуатации автоматизированной системы контроля испытаний 25

Краткие сообщения

- Рыжик Э.И.* – Входные усилители в диапазонах частот 18...26 и 26...40 ГГц 34
- Виноградов В.Г., Гудкова Н.Б., Рыжик Э.И., Ефимова С.В.* – Входные широкополосные усилители-ограничители в диапазонах частот 2...4,5 и 4...8 ГГц..... 37

Медицинская электроника

- Казаринов К.Д.* – Роль клеточных мембранных систем в рецепции электромагнитных полей КВЧ-диапазона биологическими объектами 42

К 65-летию ФГУП «НПП «Исток»

- Попов Р.М.* – Приборы ночного видения..... 56

ELEKTRONNAYA TEKHNIKA

(Electronic Engineering)

SERIES 1

SVCH-TEKHNIKA

(Microwave Engineering)

COLLECTION OF RESEARCH & TECHNICAL ARTICLES

Published by Federal State Unitary Enterprise "RPC "Istok",

The Federal Agency on Industry, The Russian Federation

C O N T E N T S

Issue 1(494)	2008	Founded in 1950
--------------	------	-----------------

Technology

- Dukhnovsky M.P., Krysov G.A., Ratnikova A.K.* – Metallization of artificial CVD-diamond wafers 3
- Lebedev M.V., Pavlova M.A., Mushkarenko Yu.N.* – Peculiarities of manufacturing metal-ceramic nodes with high-temperature dielectric materials..... 8

Materials

- Kanevsky E.I., Kazina G.A., Kolpakova N.F., Nechepurenko I.S., Orlova T.S.* – Durability of permanent magnets 14

Production & engineering experience

- Tsai P.I., Zhukov V.G., Filatov A.Yu.* – The results of experimental operation of automated system for test monitoring 25

Short information

- Ryzhik E.I.* – Input amplifiers in 18...26 and 26...40 GHz frequency ranges 34
- Vinogradov V.G., Gudkova N.B., Ryzhik E.I., Ephimova S.V.* – Input wideband amplifiers-limiters in 2...4.5 and 4...8 GHz frequency ranges 37

Medical electronics

- Kazarinov K.D.* – The importance of cellular membrane systems in reception of electromagnetic fields of extremely high frequency band by biological objects..... 42

To the 65-th anniversary of FSUE "RPC "Istok"

- Popov R.M.* – Night vision devices 56

УДК 621.793:546.26

МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ПЛАСТИН ИЗ ИСКУССТВЕННОГО CVD-АЛМАЗА

М. П. Духновский, Г. А. Крысов, А. К. Ратникова

ФГУП «НПП «Исток», г. Фрязино

На основе ионной имплантации разработан процесс нанесения металлической пленки на пластины из поликристаллического CVD-алмаза для применения их в качестве теплоотвода в силовых полупроводниковых приборах, не требующий высокотемпературной обработки и обеспечивающий высокую адгезию и сохранение основных электрофизических характеристик алмаза.

Based on ion implantation there was developed a process of metal film deposition on wafers made of polycrystal CVD-diamond to use it as a heatsink in power semiconductor devices providing high adhesion and maintaining diamond principal electric-physical characteristics. The process does not require high-temperature treatment,

1. ВВЕДЕНИЕ

Полупроводниковые приборы и электронные системы, особенно мощные, генерируют тепловые потоки, которые необходимо отводить для предотвращения перегрева, приводящего к ухудшению параметров приборов и устройств. Многослойная сверхплотная топология расположения элементов не позволяет использовать традиционные теплоотводы из керамики на основе окиси бериллия и нитрида алюминия, так как они не обеспечивают требуемых в наше время мощностей рассеяния приборов.

Перспективным направлением является интегрирование бескорпусных кристаллов диодов и транзисторов в единых сборках с использованием в качестве основания металлизированной пластины из искусственного CVD-алмаза (chemical vapor deposition – химическое осаждение из газовой фазы), выращиваемого в плазмохимическом реакторе на основе СВЧ-разряда на подложке из кремния.

Помимо свойств, характерных для натурального алмаза (высокая теплопроводность, твердость, износостойкость, электрическая изоляция, химическая и радиационная стойкость, наилучшая среди всех материалов оптическая и механическая прочность), к преимуществам CVD-алмаза следует отнести: возможность получения изделий заданной формы и больших размеров, высокая воспроизводимость физических параметров вследствие тщательного контроля условий роста и чистоты используемых газов.

Для использования алмаза в качестве теплоотвода его необходимо металлизировать. Покрытие алмаза металлом является весьма сложной проблемой, так как алмаз имеет чрезвычайно

низкую адгезию к любым материалам и не смачивается металлами. Это обусловлено тем, что алмаз обладает наиболее упакованной решеткой из всех известных материалов и внедрение инородных атомов в его решетку за счет диффузии практически невозможно.

2. СПОСОБЫ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ПЛАСТИН ИЗ ИСКУССТВЕННОГО CVD-АЛМАЗА

Поиск путей металлизации CVD-алмаза проводится весьма интенсивно. Его цель – создание на поверхности алмаза металлической плёнки с высокой адгезией в результате сравнительно простых и надёжных технологических операций без ухудшения электрофизических свойств алмаза.

В ряде работ [1-5] предложены следующие способы металлизации CVD-алмаза: путем спекания из паст при температуре 950⁰С в течение 10 мин в атмосфере азота; напылением тонких слоев металлов на предварительно отожжённую в потоке газа поверхность CVD-алмаза с последующим нанесением металла; вжиганием металлов при температуре 500 ⁰С и выше в течение 18...48 ч; нанесением на алмазную пластину тугоплавких металлов в бескислородной среде при температуре 700...1200⁰С в течение 5...60 мин; осаждением металла на активированную в высокочастотной плазме кислорода поверхность пластины алмаза.

Эти способы обеспечивают достаточную адгезию к алмазу вследствие воздействия высоких температур в течение длительного времени, приводящих к образованию карбидов металлов, но имеют ряд существенных недостатков. К ним можно отнести необходимость высокотемпературного нагрева и связанную с этим возможность графитизации алмаза и деградации его электрофизических характеристик, а также сложность процессов и их длительность.

Для достижения хорошей адгезии необходимо взаимное проникновение материала тонкой плёнки в подложку и возникновение химической связи между ними. Одним из эффективных технологических способов достижения высокой степени адгезии за счёт диффузии адгезива и химического взаимодействия его материала с подложкой может быть ионная имплантация [6].

В процессе имплантации в кристалле достаточно быстрый ион может генерировать каскад атомных смещений. Если поверхность твердого тела покрыта слоем материала, то указанный процесс происходит и в этом слое. В результате атомы, выбитые таким образом из плёнки, нанесённой на поверхность, имеют значительную энергию и могут внедряться в материал подложки. Энергия этих атомов трансформируется в тепло, в связи с этим локальная температура может достигать тысяч градусов, что и обеспечивает в этих местах образование химических соединений.

Возможность локального мгновенного (в течение менее 10⁻¹¹ с) повышения температуры до нескольких тысяч градусов исключает необходимость высокотемпературного прогрева всей пластины алмаза. При этом температура пластины в целом не превышает 50...100 ⁰С. Тем самым исключается процесс графитизации, а следовательно, обеспечивается получение высоких электрофизических параметров металлизированной пластины алмаза при сохранении высокой адгезии.

Предполагается, что высокая адгезия при ионной имплантации достигается в результате изменения состава и структуры переходной области (т.е. области, в которой присутствуют атомы плёнки и подложки) под влиянием внедрённых ионов.

Это подтверждается результатами работ [7-8], где исследовалось влияние процесса ионной

имплантации на адгезию плёнок молибдена к кремниевой подложке. Для получения переходного слоя металлические плёнки подвергались бомбардировке ионами B^+ , P^+ , As^+ , Si^+ .

Из эксперимента следует, что адгезия молибденовой плёнки к кремниевой подложке не зависит от толщины плёнки. Это указывает на то, что определяющую роль в изменении адгезии играет граница плёнка–подложка. Также показана возможность улучшения адгезии плёнки к подложке при оптимальном выборе режимов облучения.

В настоящей работе предлагается новый способ металлизации алмазных пластин [9]. Основная идея заключается в том, что на поверхность алмаза наносится промежуточный слой полупроводника или диэлектрика, хорошая адгезия которого к алмазу обеспечивается ионной имплантацией, а затем на этот промежуточный слой наносится слой металла. Это обеспечивает сохранение высоких электрофизических параметров алмаза за счет исключения деградации свойств алмаза при сохранении высокой адгезии его к металлу.

В нашем случае промежуточным слоем между алмазом и металлизацией служит кремний. Этот материал выбран потому, что имплантированный кремний образует прочные химические соединения (карбиды, силициды), необходимые для соединения с хорошей степенью адгезии, а промышленная технология металлизации кремния известна и освоена.

Слой кремния позволяет перейти от контакта металл–алмаз к контакту металл–кремний, который реализуется, как правило, при низкой температуре (порядка 150...200 °C), что исключает вероятность деградации пластины алмаза.

В качестве легирующей примеси используется аргон, так как это нейтральный, хорошо ионизирующийся газ и его атомная масса достаточно близка к атомной массе материала пленки, что обеспечивает максимальную энергию передачи от атомов легирующей примеси к атомам пленки, а значит, обеспечивает образование максимального числа атомов отдачи.

Доза облучения подбирается так, чтобы с учетом эффективности образования атомов отдачи концентрация внедрённых атомов металла в подложку была близка к атомной концентрации материала подложки, т. е. составляла $10^{21} \dots 10^{22}$ атомов на кубический сантиметр.

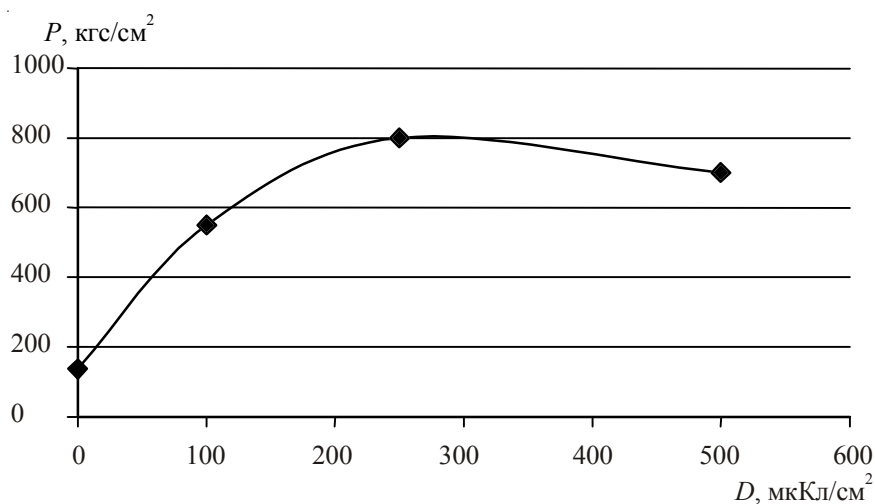
Таким образом, процесс металлизации пластины алмаза содержит следующие операции:

- нанесение на установке вакуумного осаждения УВН РЭ.Э–60 методом электронно-лучевого осаждения слоя кремния толщиной 0,07 мкм с двух сторон алмазной пластины;
- ионное легирование на установке ионной имплантации «Лада-30» напыленного кремния с двух сторон ускоренными ионами аргона с энергией 100 кэВ и дозой облучения 250 мкКл/см² с целью формирования в алмазе слоя соединения кремния с углеродом с концентрацией кремния в нем $10^{19} \dots 10^{21}$ атомов на кубический сантиметр;
- отжиг имплантированных образцов в кислородной плазме с двух сторон для удаления углеродной плёнки, образовавшейся при имплантации;
- напыление на образцы с двух сторон плёнок титана, молибдена, никеля толщиной 0,1; 0,1; 0,2 мкм соответственно.

Толщина промежуточного слоя обусловлена необходимостью обеспечения минимального влияния его на теплопроводность металлизированной пластины алмаза. Кроме того, толщина должна быть близка к величине среднего проективного пробега ионов, так как при этом достигается максимальная эффективность создания атомов отдачи (в данном случае атомов кремния), которые образуют слой соединения с углеродом пластины алмаза.

Для определения количественной величины адгезии трёхслойного покрытия (титан–молибден–никель) к пластинам монокристаллического кремния были изготовлены пластины алмаза

с напылённым слоем кремния толщиной 0,07 мкм, имплантированного аргоном при дозах облучения 100, 250 и 500 мкКл/см² и энергии ионов 100 кэВ. Для сравнения несколько пластин имплантации не подвергались. Для поставленных целей применяли «клеевой» метод. Полученные данные представлены на рисунке.



Зависимость величины адгезии пленок Ti/Mo/Ni к кремниевой подложке от дозы ионов аргона

Из рисунка видно, что при отсутствии имплантации отрыв происходит при усилии около 120 кгс/см². При этом наблюдается отрыв напылённого кремния с нанесённой на него металлизацией от поверхности алмаза. Имплантация аргона увеличивает силу адгезии, достигающую максимума при дозе около 250 мкКл/см², т. е. примерно в 6 раз. Нужно отметить, что отрыв при этом происходит либо по клею (когезионный отрыв), либо клея от металлов. Максимальные усилия отрыва составили 800...830 кгс/см².

На изготовленных в работе образцах металлизированных пластин алмаза были измерены электрофизические параметры – теплопроводность и удельное сопротивление. Предварительно вышеуказанные параметры были измерены на исходных пластинах алмаза, перед формированием промежуточного слоя и нанесением металлизации.

Электрофизические характеристики алмазных образцов и величина адгезии металлизации в зависимости от толщины слоя кремния и дозы его облучения как до металлизации, так и после имеют следующие величины: теплопроводность – порядка 1200...1500 Вт/(м·К); удельное сопротивление – более 10^{13} Ом·см; адгезия металла к алмазу – около 800 кгс/см². Таким образом, результаты измерений подтверждают отсутствие деградации свойств алмаза в процессе металлизации пластины.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведена работа по созданию металлизационного слоя на пластинах из искусственного CVD-алмаза с применением процесса ионной имплантации.

Подобраны оптимальная толщина слоя кремния и режим облучения его ионами аргона.

Предложенный способ металлизации пластин из искусственного CVD-алмаза позволяет получить без применения высокотемпературной обработки надежное металлическое покрытие и обеспечить высокие электрофизические характеристики алмазного теплоотвода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 6723420 США. Thick film paste systems for circuits on diamond substrates / Petkie, Ronald R.; приоритет 20.04.04.
2. Пат. 6114256 США. Stable metallization for diamond and other materials / Bachli, Andreas, Kolawa et al.; приоритет 05.09.00.
3. Пат. 5853888 США. Surface modification of synthetic diamond for producing adherent thick and thin film metallizations for electronic packaging / Dutta, Indranath et al.; приоритет 29.12.98.
4. Пат. 5346719 США. Tungsten metallization of CVD diamond / Zarnoch, Kenneth P. et al.; приоритет 13.09.94.
5. Пат. 6348240 США. Methods for and products of modification and metallization of oxidizable surfaces, including diamond surfaces, by plasma oxidation / Calvert, Jeffrey M. et al.; приоритет 19.02.02.
6. Жукова Г.А., Мордкович В.Н., Щербина С.М. Влияние ионной бомбардировки на адгезионные свойства границы раздела металлическая плёнка – подложка // Электронная техника. Сер. 2, Полупроводниковые приборы. – 1985. – Вып. 5 (178). – С. 69-72.
7. Комаров Ф.Ф. Ионная имплантация в металлы. – М.: Металлургия, 1990.
8. Файзрахманов И.А., Хайбуллин И.Б. Применение ионной бомбардировки при изготовлении дифракционных решёток // Электронная техника. Сер. 7, Технология, организация производства и оборудования. – 1988. – Вып. 4 (149). – С.72-75.
9. Пат. 2285977 РФ. Металлизированная пластина алмаза и способ её изготовления / Духновский М.П., Крысов Г.А., Ратникова А.К.; приоритет 21.03.05.

Статья поступила 13 января 2008 г.

УДК 621.315.61

ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ УЗЛОВ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ

М. В. Лебедев, М. А. Павлова, Ю. Н. Мушкаренко

ФГУП «НПП «Исток», г. Фрязино

Дана краткая характеристика перспективных по применению в изделиях электронной техники, в частности электронике СВЧ, высокотеплопроводных оксидных и других диэлектриков. Проанализированы особенности технологических подходов получения надежных узлов с ними. Показаны наиболее оптимальные процессы изготовления герметичных и термо- и механически прочных металлodieлектрических узлов с конкретным высокотемпературным диэлектриком.

Short characteristics of high thermal conductive oxides and other dielectrics perspective for use in electronic engineering products, particularly in microwave electronics, have been considered. The peculiarities of technological approaches of getting reliable nodes with them are analyzed. The most optimal processes of manufacturing hermetic and thermo- and mechanic durable metal-dielectric nodes with a specific high-temperature dielectric are shown.

С ростом мощности электровакуумных и полупроводниковых приборов (ЭВП и ПП) серьезную проблему представляет эффективный отвод тепла от функциональных устройств, в частности от металлodieлектрических узлов различного назначения. При этом принципиальное значение имеет выбор диэлектрика с необходимым высоким значением теплопроводности. Теплопроводность вносит максимальный вклад в процессы теплообмена в рабочих диапазонах изделий электронной техники (ИЭТ) при обязательном условии хороших электроизоляционных свойств у применяемых диэлектриков.

Теплопроводность неметаллических твердых тел зависит, главным образом, от их кристаллической структуры. Кроме того, неметаллические твердые тела с высоким коэффициентом теплопроводности должны обладать минимальным числом атомов в элементарной решетке [1]. В связи с этим, например, алюмооксидные керамические диэлектрики, широко используемые в ИЭТ, не обладают высоким коэффициентом теплопроводности и поэтому мало пригодны к применению в теплонагруженных элементах ЭВП с мощностью, близкой к 1 МВт. При этом количество неметаллических высокотеплопроводных материалов в природе ограничено. На рис. 1 приведены сравнительные значения теплопроводности наиболее перспективных в ИЭТ диэлектрических материалов и меди [2].

Принципиальное значение при разработке надежных металлoкeрамических узлов (МКУ) имеют как свойства соединяемых материалов, так и конструкция, и технология их изготовления [3]. Особенно высокие требования предъявляются к герметичным (с величиной натекания не хуже $1 \cdot 10^{-11}$ м³·Па/с) узлам мощных ЭВП. Именно в таких узлах высокотеплопроводный

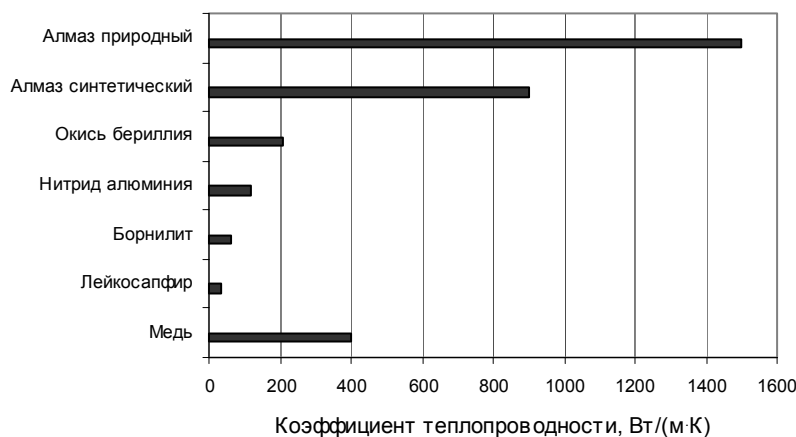


Рис. 1. Теплопроводность материалов для ИЭТ

диэлектрик используется с максимальной эффективностью. Это и вводы–выводы энергии, и полюсные наконечники, и многие другие теплонагруженные элементы приборов и устройств.

Конструктивные факторы определяют напряженное состояние узла. С ростом напряжений, действующих в элементах узла, изменяются и ухудшаются (в зависимости от знака напряжений) его термомеханические и вакуумные свойства. Основными характеристиками диэлектрических материалов и металлов, влияющими на механическое напряжение и, следовательно, на надежность, являются температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), механическая прочность и модуль упругости. Опасные напряжения в узле можно значительно снизить, например, сближением ТКЛР соединяемых материалов во всем интервале температур, а также выбором металлов с высокой пластичностью или подбором оптимальных скоростей нагрева и, особенно, охлаждения, когда между диэлектриком и металлом минимальные градиенты температур приводят к образованию незначительных по величине напряжений.

При выборе конструкции узла и материалов стремятся и к тому, чтобы напряжения были сжимающими, так как предел прочности диэлектриков на сжатие во много раз больше предела прочности на растяжение.

В зависимости от конструкции, габаритов, материалов, требований и условий дальнейшей эксплуатации узлов в ИЭТ применяется один из технологических процессов пайки или термокомпрессионной сварки [3].

В МКУ приборов средней и большой мощности из диэлектрических материалов (см. рис.1) сегодня продолжают широко использовать керамику на основе оксида бериллия (керамика марки ОБ-1). По теплопроводности оксид бериллия превышает все материалы на основе чистых оксидов. Теплопроводность горячепрессованного оптически прозрачного оксида бора заметно выше, чем у ОБ-1, а у монокристаллической ВеО она достигает 370 Вт/м при 300 К.

Недостатками всех материалов на основе оксида бора являются токсичность, химическая инертность, значительное падение коэффициента теплопроводности с ростом температуры (рис.2), критичность к механической обработке поверхностей. Из-за плотности и жесткости материала и больших механических и динамических нагрузок при обработке, поверхности изделий получают множественные микродефекты, «залечить» которые, а также уменьшить

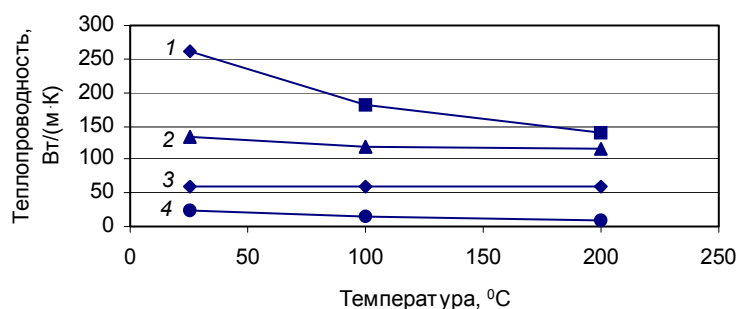


Рис. 2. Температурная зависимость теплопроводности BeO (1), AlN (2), BN (3), Al₂O₃ (4)

опасные остаточные механические напряжения в изделии можно высокотемпературным отжигом. Кроме того, сегодня все производство керамики находится за пределами страны.

Традиционная технология изготовления узлов с керамикой ОБ-1, таких, как окна выводов энергии, производится по способу предварительной металлизации диэлектрика с последующей пайкой твердым припоем. Необходимое качество МКУ с керамикой ОБ-1 обеспечивается пайкой в водороде, например, припоями типа ПЗл35, ПМГ9Мц1 и др. [4]. При этом механическая прочность соединений на статический изгиб достигает значений 150 МПа, что составляет от 30 до 50 % от прочности аналогичных соединений с алюмооксидной керамикой, например, марки ВК-94. При этом разрушение имеет преимущественно смешанный характер: с отрывами как металлизации, так и керамики. Натекание же чаще всего происходит по границе керамики с металлизацией из-за разупрочнения поверхностного слоя керамики.

В 80-х годах прошлого века с BeO начали успешно конкурировать нитридные керамические диэлектрики на основе BN и AlN. Хорошая теплопроводность, нетоксичность, малые значения диэлектрических потерь и коэффициента вторичной электронной эмиссии сделали их весьма перспективными в ИЭТ. Вторым по применимости после BeO в выводах энергии, особенно в миллиметровом диапазоне длин волн, стал пиролитический нитрид бора (борнитрит) [5,6]. Он имеет слоистую гексагональную кристаллическую структуру с характерной сильной ковалентной связью в слоях и слабой ван-дер-ваальсовой связью между слоями, расстояние между которыми в 2,5 раза превышает межатомные расстояния в слоях. В отличие от многих материалов, в том числе и керамических, теплопроводность пиролитического нитрида бора при повышенных температурах снижается очень незначительно и при температуре выше 700°C превышает теплопроводность окиси бериллия. Нитрид бора имеет ряд характеристик, выгодно отличающих его от других диэлектриков, в частности низкие $\tan \delta$ и ϵ , высокие теплопроводность и газонепроницаемость. Вместе с тем такие свойства нитрида бора, как недостаточно высокая прочность, высокая анизотропия КТР и теплопроводности, ограничивают его применение.

Значительно уступает нитриду бора по применимости в настоящее время в электронной технике нитрид алюминия. Это соединение имеет гексагональную решетку типа вюртцита. Доля ионной связи в кристаллической решетке AlN такова, что авторы [7] делают заключение о ковалентно-ионном характере внутренних связей. Реакционная способность нитрида алюминия

в значительной степени зависит от чистоты, структуры и дисперсности материала, а также от среды и температуры синтеза. Теплопроводность нитрида алюминия обуславливается в значительной степени количеством в нем примеси кислорода. Так, если для достаточно чистого одиночного кристалла нитрида алюминия теплопроводность определена [7] в 280 Вт/(м·К), то кристалл, содержание примеси кислорода в котором составляет 0,8 масс. %, имеет теплопроводность в 80 Вт/(м·К). И тем не менее (см. рис. 2) теплопроводность AlN в 8 раз выше, чем Al₂O₃, что говорит о перспективности материала.

Нитридные материалы, принципиально отличающиеся по составу и природе связи от оксидных диэлектриков, также различаются с ними физико-химическими процессами взаимодействия с металлами при изготовлении МКУ. Особенности этих процессов еще недостаточно исследованы и изучены. Обладая большой химической инертностью, нитридные диэлектрики образуют прочные и надежные соединения с металлами по контактно-реактивной технологии [3] с использованием межфазно- и химически активного элемента, например, титана. Он может присутствовать как в составе металлизационной пасты или напыленного металлизационного слоя, так и в составе припоя, где его оптимальное содержание составляет 3...5 масс. %, а также в виде конструкционного металла. Известно, что титан – один из активнейших элементов на границе разнородных материалов при их соединении как в жидкой фазе, так и при сварке в твердых фазах. Однако прочность получаемых с нитридами соединений существенно ниже, чем, например, с оксидными материалами (таблица). Достаточно надежные МКУ с нитридными керамиками получаются в результате строгого соблюдения оптимальных режимов пайки, исключающих перегревы, передержки по времени при максимальной температуре пайки [8].

Таблица

**Прочность на статический изгиб соединений
высокотеплопроводных диэлектриков с медью**

Диэлектрик	Прочность на изгиб, МПа
Al ₂ O ₃ –ВК-94	200 - 250
BeO–ОБ-1	100 - 150
BN пиролитический	30 – 35 *
AlN	75 - 110
Алмаз CVD	80 - 150

*Прочность на срез.

С помощью рентгенофазового анализа обнаружено, что продуктами взаимодействия в спа-ях, например, BN с медью припоем медь-титан-никель (2+2+2 мкм) являются TiB, Cu₃N и интерметаллид Cu₃Ti. Твердость и хрупкость интерметаллидов приводят к снижению прочности соединений в МКУ. Однако узлы с нитридными материалами, которые изготовлены в опти-

мальных условиях, характеризующихся положительным влиянием на их качество комплекса технологических параметров, имеют необходимый запас надежности, что подтверждается их многочисленными испытаниями на термомеханическую устойчивость.

Из рис.1 следует, что самой высокой теплопроводностью обладают природные и синтетические алмазы, превосходящие по этому параметру в 2...6 раз такой хороший проводник, как медь. Для практического применения в ИЭТ наиболее перспективен искусственный поликристаллический алмазный материал, получаемый плазмохимическим методом, – CVD-алмаз. Он обладает комплексом уникальных свойств на СВЧ и теплопроводностью, сопоставимыми со свойствами природных алмазов [9]. Низкий тангенс диэлектрических потерь в сочетании с высокой теплопроводностью и прочностью делают алмаз CVD идеальным материалом для изготовления окон выводов энергии (для мощных клистронов, гиротронов и др.) с пластинами оптической чистоты, а также теплоотводов для твердотельных приборов [10]. Однако очень прочные ковалентные связи в решетке алмаза, обуславливающие необычайную твердость и химическую инертность материала, усложняют подходы к поиску способов получения надежных соединений его с металлами. Необходимо создать такие технологические условия, при которых прочная связь между алмазом и металлом будет обеспечиваться через тончайший, до 1...2 мкм, переходный слой карбида. Дальнейший рост переходного слоя ведет к быстрому падению прочности соединения. При этом конструкцией, подготовкой деталей и выбранными технологическими параметрами должны обеспечиваться по завершении изготовления алмазно-металлических узлов низкие остаточные напряжения и невозможность ухудшения качества узлов при последующей их эксплуатации в изделиях ЭВП. Естественно, что данные условия относятся и к надежным герметичным соединениям металлов с другими рассмотренными диэлектриками.

К настоящему времени ограничениями в применении CVD-алмаза являются: низкая производительность получения алмазных пластин-заготовок, толщина которых не превышает 2...2,5 мм, большие физические и материальные затраты при механической обработке и, как следствие, высокая стоимость материала. Однако по комплексу уникальных свойств CVD-алмаз имеет огромные перспективы по применению в изделиях электронной техники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Путем сравнительного анализа высокотеплопроводных диэлектриков показана перспективность их дальнейшего использования в ИЭТ, и в частности в СВЧ-технике.
2. С учетом низкой физико-химической активности всех без исключения материалов наиболее перспективен способ изготовления надежных МКУ по контактно-реактивной технологии с предварительной металлизацией диэлектрика.
3. Для дальнейшего применения материалов и повышения качества МКУ с ними необходимо продолжение исследований как механизмов взаимодействия по границам фаз, так и условий их эксплуатации в ИЭТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Высокотеплопроводные материалы в электронике СВЧ: Обзоры по электронной технике. Сер. 6 / Ю.Н. Мушкаренко. – М.: ЦНИИ «Электроника». – 1988. – 40 с.
2. Slack G.A. Nonmetallic crystals with high thermal conductivity // J. Phys. Chem. – 1973. – P. 321-335.
3. Батыгин В.Н., Метелкин И.И., Решетников А.М. Вакуумно-плотная керамика и ее спаи с металлами. – М.: Энергия, 1973. – 408 с.
4. Бовкун Л.Н., Павлова М.А., Корягина И.Л. Керамика на основе окиси бериллия и ее соединение с металлом // Электронная техника. Сер. 1, Электроника СВЧ. – 1990. – Вып. 4. – С. 58-60.
5. Basche M., Schiff D. // Mat. Des. Eng. – 1964. – Vol. 59, No 2. – P. 78-81.
6. Нитрид бора. Свойства и применение в электронике: Обзоры по электронной технике. Сер. Технология и организация производства / Э.И. Батыгина, В.Н. Батыгин. – М.: ЦНИИ «Электроника». – 1971. – Вып. 19(320).
7. Косолапова Т.Я. Неметаллические тугоплавкие соединения. – М.: Металлургия, 1985.
8. Павлова М.А., Кручинин В.П., Корягина И.Л. Соединение высокотеплопроводных диэлектриков с металлами // Электронная техника. Сер. 1, СВЧ-техника. – 1992. – Вып. 6(450). – С. 48-50.
9. Ralchenko V.G., Smolin A.A., Konov V.I. et al. Large – area diamond bi microwave plasma // Diamond and Related Materials. – 1997. – No 6. – P. 417-421.
10. Пат. 2300162 С 1 РФ. Способ изготовления окна вывода энергии / Ляпин Л.В., Сытилин С.Н., Павлова М.А.; опубл. 27.05.07, Бюл. № 15.

Статья поступила 10 февраля 2008 г.

== НОВЫЕ КНИГИ ==

Динамика радиоэлектроники / Под общ. ред. Ю.И. Борисова. - М.: Техносфера, 2007. - 400 с., ил.

Книга содержит материал о динамике развития радиоэлектроники - одной из наиболее важных составляющих научно-технического прогресса общества, во многом определяющей его социальные и оборонные возможности. Материалы книги подготовлены группой ученых и инженеров, непосредственно принимавших участие в исследованиях, разработках, испытаниях и применении изделий электронной техники и радиотехнической аппаратуры. В числе авторов Боев С.Ф., Борисов В.И., Васильев А.Г., Иммореев И.Я., Канащенков А.И., Кузнецов Ю.А., Кукк К.И., Куклев В.П., Левин В.К., Мажоров Ю.Н., Осипов Б.Я., Осокин А.Н., Перунов Ю.М., Ребров С.И. и др.

Для читателей, интересующихся созданием и развитием отечественной радиоэлектроники и условиями, в которых проходило ее становление в СССР.

УДК 621.318.2

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

Е. И. Каневский, Г. А. Казина, Н. Ф. Колпакова, И. С. Нечепуренко, Т. С. Орлова

ФГУП «НПП «Исток», г. Фрязино

Рассмотрено естественное старение со временем постоянных магнитов из сплавов типа ЮНДК, феррита бария, Sm-Co и Fe-Nd-B. Учтено влияние температуры на долговечность постоянных магнитов. Приведены методики оценочного численного расчёта естественного и температурного старения постоянных магнитов в зависимости от условий их работы в изделиях.

Nature aging in time of the permanent magnets from alloy type Alnico, ferrite Ba, Sm-Co and Fe-Nd-B are considered. Influence of temperature on durability of permanent magnets is taken into consideration. Method evaluate calculation of irreversible lose nature and temperature aging is demonstrated. Influence conditions of work permanent magnets in device on irreversible lose is considered.

1. ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] исследована длительная стабильность постоянных магнитов из сплавов типа ЮНДК и показано, что естественное длительное старение линейно зависит от логарифма времени. Коэффициент старения (угол наклона зависимости магнитной индукции от логарифма времени) зависит от параметров используемого магнитотвёрдого материала (МТМ) и положения рабочей точки магнита на кривой размагничивания МТМ при его работе в конкретном изделии. Полученные зависимости позволяют по полученным за достаточно короткое время экспериментальным данным рассчитать длительную стабильность используемого МТМ в конкретных условиях его работы в изделии.

В работе [2] проведен анализ причин временной нестабильности магнитов из сплава КС37 при повышенных температурах в течение времени (до 10 000 ч). Оказалось, что у некоторых образцов после определённой выдержки (для каждого образца своё время выдержки) при температурах 150 и 300 °С скорость старения возрастает.

Автор показала, что необратимые температурно-временные потери магнитов из сплава КС37 связаны с перемагничиванием микрообластей магнита в собственном размагничивающем поле под влиянием термических флуктуаций, то есть ответственным за старение является явление магнитной вязкости.

Выведенные на основе теории магнитной вязкости уравнения позволили автору достаточно точно объяснить полученные экспериментальные значения необратимых потерь, увязав их с характером кривых размагничивания исследуемых сплавов и положением рабочих точек исследуемых образцов на кривых размагничивания.

2. ДОЛГОВЕЧНОСТЬ В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР 15...35 °С

Линейная зависимость изменения намагниченности магнита от логарифма времени характеризует длительную стабильность магнитов [1] и выражается формулой:

$$\eta = \frac{\Delta B}{B} / \lg \frac{t_1}{t_0}, \quad (1)$$

где ΔB – изменение магнитной индукции; B – первоначальное (исходное) значение магнитной индукции; t_1 – текущий момент времени; t_0 – первоначальный (исходный) момент времени.

Тангенс угла наклона η зависимости изменения магнитной индукции B к оси логарифма времени (коэффициент нестабильности) характеризует поведение магнита во времени и позволяет определить необратимые потери B в рабочей точке магнита для любого момента времени. Значение η определяется экспериментально для конкретного используемого МТМ и для конкретных формы и размеров магнита. Для этого необходимо измерить $\Delta B/B$ в первые моменты времени после намагничивания, так как в это время происходят наибольшие изменения B . В зависимости от чувствительности и точности магнитоизмерительной аппаратуры это время колеблется от 10 до 1000 ч.

Для длительного хранения отобрали кольцевые магниты из феррита бария (марки 7БИ300 и 18БА300), а также кольцевые магниты из сплава ЮНДК35Т5. Из таких же магнитов были собраны магнитные периодические фокусирующие системы (МПФС). Исследования проводили в наиболее тяжёлых условиях работы магнитов в изделиях: рабочая точка магнитов в МПФС лежит гораздо ниже максимума магнитной энергии используемого МТМ. В наиболее низкой рабочей точке магнитная проницаемость $\mu = B/H = -0,41$ (размагничивающий фактор $N = H/M = -0,71$), в наиболее высокой – $\mu = -3,76$ ($N = -0,21$). Все магниты были стабилизированы стандартным способом: ферритовые магниты в составе МПФС – охлаждением до температуры $-60...-65$ °С и выдержкой при этой температуре не менее 1 ч; магниты из сплава ЮНДК35Т5 – нагревом до температуры $130...140$ °С и выдержкой при этой температуре не менее 1 ч. Первоначальные измерения проводили при помощи баллистического гальванометра путем выдерживания измерительной катушки из рабочего зазора магнитов. Все последующие измерения осуществляли с помощью датчика Холла и записи распределения B на оси магнитов или МПФС. Во всех случаях приборная погрешность измерений составила $\pm 2\%$, методическая – $\pm 0,5\%$. Таким образом, суммарная погрешность измерений составила $\pm 2,5\%$.

Всего для длительного хранения было заложено: из сплава ЮНДК35Т5 – пять отдельных колец различных размеров и одна МПФС; из феррита бария – девять отдельных колец и три МПФС. На рис. 1 показаны типичные результаты измерений, причём отобрали случаи с наибольшим разбросом результатов. Это – МПФС с магнитами из сплава ЮНДК35Т5 и одна МПФС с магнитами из феррита бария. На рис. 2 представлена в увеличенном масштабе область с наибольшим разбросом измеренных значений B (МПФС с магнитами из сплава ЮНДК35Т5) и показаны пределы погрешности измерений для максимального и минимального значений B . Перекрываемая предельными значениями погрешности измерений область является областью действительных значений B , на рис 2 эта область заштрихована. Перекрываемая область составляет 1% от измеряемого значения B . Отсюда можно сде-

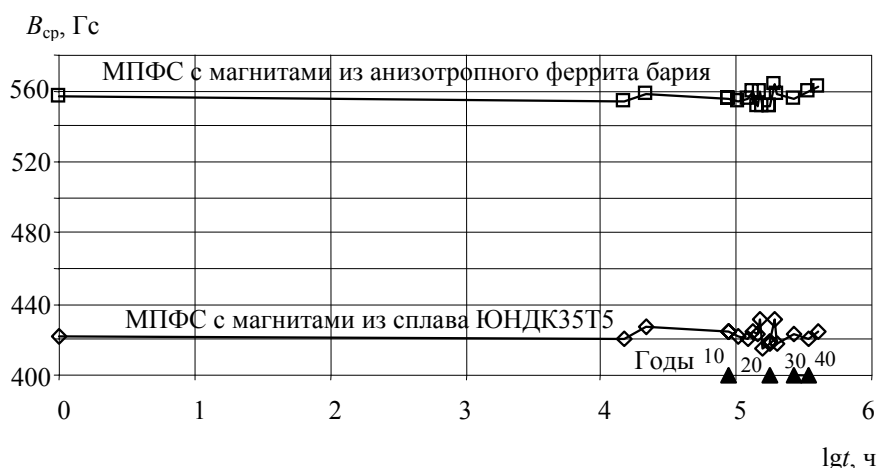


Рис. 1. Изменение B для магнита из феррита бария и ЮНДК от времени

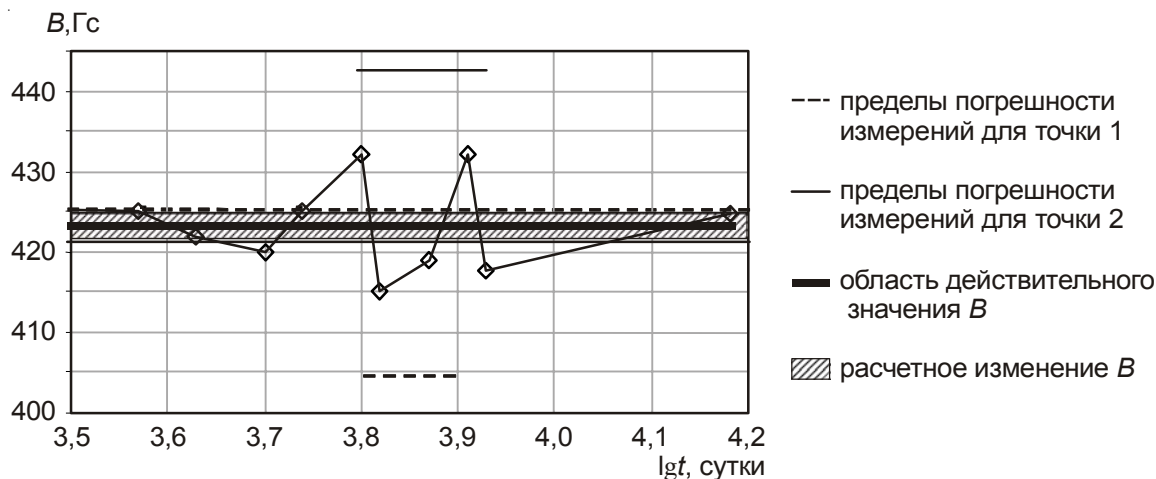


Рис. 2. Область действительного значения B для магнитов из сплава ЮНДК35Т5

лать вывод, что в исследуемых стабилизированных магнитах из сплава ЮНДК35Т5 и феррита бария при положении их рабочей точки ниже максимума магнитной энергии этих МТМ за 41,5 года хранения значения B не изменились (погрешность измерений – $\pm 0,5\%$).

На этом же рисунке линией в заштрихованной области показано рассчитанное по формуле (1) изменение B за этот же срок хранения магнитов. Совпадение результатов расчёта и эксперимента показывает возможность применения метода Миткевич [1] для оценки долговечности магнитов из рассматриваемых МТМ. Основная трудность в применении этого метода заключается в определении значения η . Для экспериментального определения η необходима высокоточная магнитоизмерительная аппаратура.

Появившиеся новые МТМ на основе сплава SmCo_5 , а затем $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ нашли широкое применение в СВЧ-технике благодаря уникальному сочетанию высоких магнитных параметров (высокая коэрцитивная сила по намагниченности H_c , высокая коэрцитивная сила по индукции H_c и высокая максимальная магнитная энергия $(BH)_{\max}$). После того как была отработана технология серийного производства этих МТМ по общегосударственным техническим условиям, на

длительное хранение при комнатной температуре ($15 \dots 30^\circ\text{C}$) были заложены отдельные кольцевые магниты (с $\mu = -0,8$ в рабочей точке) и в составе МПФС ($\mu = -0,4 \dots -0,8$ в рабочей точке). Все магниты были стабилизированы стандартным способом: нагревом до температуры не менее 150°C и выдержкой при этой температуре не менее 1 ч. Измерения проводились с помощью датчика Холла и путем записи распределения B на оси магнитов или МПФС. Во всех случаях приборная погрешность измерений составила $\pm 2\%$, методическая – $\pm 0,5\%$. Суммарная погрешность измерений равнялась $\pm 2,5\%$. На рис. 3 показаны типичные результаты измерений для двух МПФС с магнитами из сплава КС37 (SmCo_5) с $\mu = -0,4$ и $-0,8$ в течение 25,5 лет. Анализ результатов измерений показал, что перекрываемая предельными значениями погрешности измерений область значений B составила 1,5% от измеряемых значений B . Таким образом, можно сделать вывод, что в исследуемых стабилизированных магнитах из сплава SmCo_5 при положении их рабочей точки ниже максимума магнитной энергии этих МТМ за 25,5 года хранения при комнатной температуре значения B не изменились (погрешность измерений – $\pm 0,75\%$).

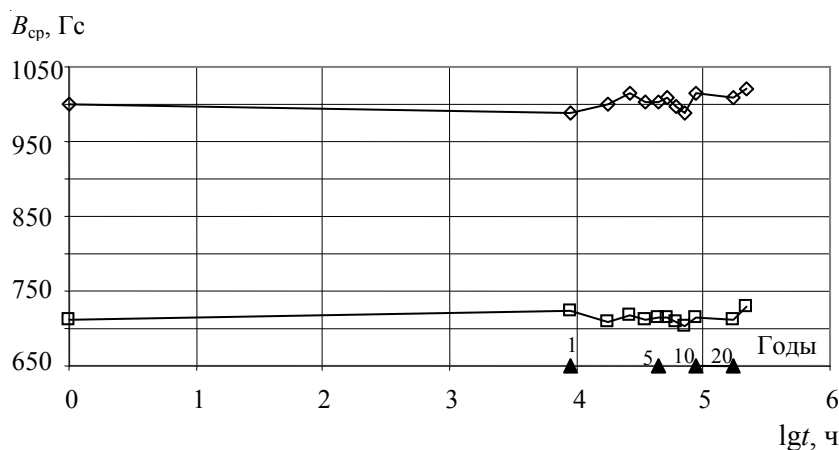


Рис. 3. Изменение B для магнитов из сплава SmCo_5 от времени

3. ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Исследованию долговечности магнитов из феррита бария и сплавов типа ЮНДК посвящено довольно много работ, однако наиболее фундаментальными являются [1,3,4]. Суть их заключается в том, что изменение B со временем при повышенных температурах ($50 \dots 300^\circ\text{C}$) подчиняется тому же закону (1), причём значение η зависит от положения рабочей точки магнитов на кривой размагничивания применяемого МТМ при работе магнита в конкретном изделии и от параметров кривой размагничивания. Поэтому для прогнозирования долговечности магнитов при повышенных температурах необходимо знание коэффициента нестабильности η для используемого МТМ при необходимой температуре и для той рабочей точки, при которой магнит работает в исследуемом изделии. Зная это значение, по формуле (1) можно рассчитать изменение B в изделии на любое необходимое время. Наиболее достоверно значение η может быть определено экспериментально, если определить изменение B в изделии

при требуемой температуре сразу после изготовления изделия (намагничивания и стабилизации магнитов для изделия), так как в это время изменения B наибольшие. Для этого необходима магнитоизмерительная аппаратура с погрешностью измерений не хуже $\pm 0,5\%$. В крайнем случае можно использовать значения η из работы [4], так как эти значения прошли экспериментальную проверку и хорошо согласуются с полученными авторами результатами.

Естественное старение при повышенных температурах для магнитов из Sm-Co также подчиняется формуле (1) [2,3,11]. Это позволяет прогнозировать необратимые потери за заданный срок службы. В табл. 1 приведены значения η для магнитов с $H_k \geq 480$ кА/м и по ним рассчитаны величины необратимых потерь при выдержке 10 000 и 100 000 ч для температур 25, 150 и 300 °С. Значения η определены по работам [2,3,11], так как только в них имеется чёткая привязка η к значениям H_k и рабочим точкам.

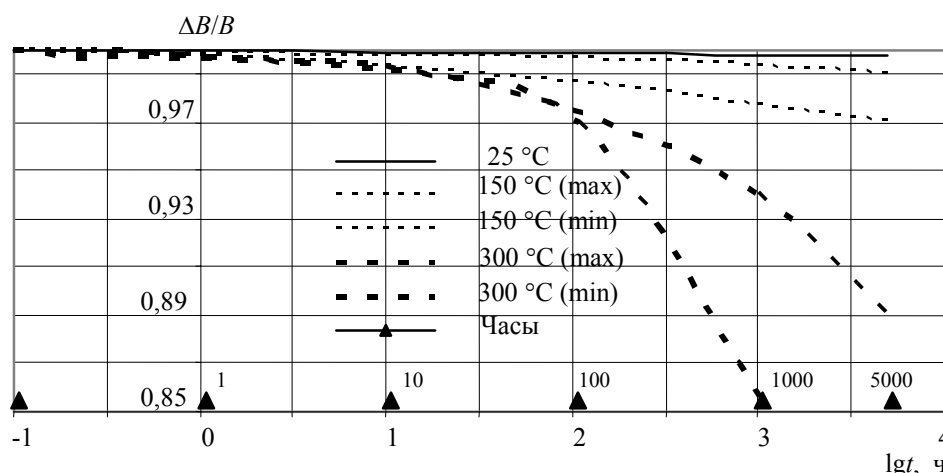
Таблица 1

Расчетные значения необратимых потерь магнитов из сплавов типа Sm-Co

Время, ч	Необратимые потери от уровня B после стабилизации, %, при температуре, °С		
	25	150	300
$\mu = B/H = -0,5$ ($N = -0,67$)			
10 000	0,20 ($100\eta = 0,05$)	2,0 ($100\eta = 0,5$)	8,0 ($100\eta = 2,0$)
100 000	0,25 ($100\eta = 0,05$)	2,5 ($100\eta = 0,5$)	10,0 ($100\eta = 2,0$)
$\mu = B/H = -1,0$ ($N = -0,50$)			
10 000	0,20 ($100\eta = 0,05$)	1,20 ($100\eta = 0,3$)	5,32 ($100\eta = 1,33$)
100 000	0,25 ($100\eta = 0,05$)	1,50 ($100\eta = 0,3$)	6,65 ($100\eta = 1,33$)

Основной причиной изменения B со временем являются флюктуационные колебания внутренних магнитных полей, вызванные тепловыми колебаниями атомов кристаллической решетки МТМ типа ЮНДК и феррита бария. Это предположение было высказано в работах [5,6] в 1949 и 1950 годах и позднее подтверждено в работах [4,7]. Названо это явление магнитной вязкостью [5], или магнитным последствием [4,6,7].

Исследования долговечности магнитов из сплавов типа Sm-Co при повышенных температурах показали [2,3,8-11], что через определённое время начинается их ускоренное старение (рис. 4). Из множества предположений о причине ускоренного старения наиболее полно разработана гипотеза, основанная на явлении магнитной вязкости [2]. На основе уравнений, приведенных в этой работе, можно рассчитать время, через которое начнётся ускоренное старение магнита при заданной температуре выдержки. Для этого необходимо знать кривые размагничивания применяемого сплава при исследуемой температуре и положение рабочей точки магнита (проницаемость в рабочей точке или размагничивающий фактор).


 Рис. 4. Изменение B для магнитов из сплава SmCo_5 при разных температурах

Физический смысл полученных автором уравнений заключается в том, что «скорость старения постоянного магнита изменяется во времени так, как будто магнит помещён в эффективное размагничивающее поле H . Величина этого отрицательного поля медленно увеличивается со временем, несмотря на то, что само размагничивающее поле $H_p = -NM$ может уменьшаться из-за уменьшения намагниченности M в процессе старения. Изменение скорости старения совпадает с изменением необратимой восприимчивости $\chi = dM/dH$ при увеличении размагничивающего поля во времени» [2].

$$H = |H_p| + \frac{kT}{g} \ln \frac{t_1}{t_0}, \quad (2)$$

где k – постоянная Больцмана; T – температура; g – постоянная, связанная с величиной активационного объёма; t_1 – время выдержки образца при температуре T ; t_0 – базисное время.

Приращение поля $\frac{kT}{g} \ln \frac{t_1}{t_0}$ приводит как бы к смещению рабочей точки по кривой размагничивания, и при достижении места, где начинает увеличиваться необратимая магнитная восприимчивость $\chi(H)$, увеличивается и изменение намагниченности ΔM :

$$\Delta M = \frac{kT\chi(H)}{g} \ln \frac{t_1}{t_0}. \quad (3)$$

Здесь $\frac{kT\chi(H)}{g} = s$ – коэффициент пропорциональности, равный тангенсу угла наклона линии изменения ΔM к оси $\ln(t_1/t_0)$. Используя формулы (2) и (3), можно рассчитать время, через которое необратимые потери для магнита из сплава SmCo_5 или $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ с известной кривой размагничивания при заданной температуре и известной рабочей точкой начнут резко увеличиваться. Это время будем считать допустимым временем эксплуатации магнитов. В результате преобразования формулы (2) получаем:

$$\Delta H = H - |H_p| = \frac{kT}{g} \ln \frac{t_1}{t_0},$$

откуда $\ln \frac{t_1}{t_0} = \frac{\Delta H}{kT/g}$,

$$t_1 / t_0 = e^{\frac{\Delta H}{kT/g}}. \quad (4)$$

Величина ΔH определяется по кривой размагничивания при исследуемой температуре, это разница между напряжённостями поля в рабочей точке и в точке, где начинается резкое изменение намагниченности M , то есть когда резко увеличивается $\chi(H)$.

Величина kT/g определяется из экспериментальных данных по длительной стабильности магнитов при заданных температурах следующим образом. Из формулы (3) следует, что $s = \Delta M / \ln(t_1/t_0)$. Экспериментально же получают зависимость $\Delta B_m / B_m = f(\ln(t_1/t_0))$, а не $\Delta M = f(\ln(t_1/t_0))$. Легко доказать, что $\Delta M / M = \Delta B_m / B_m$, где B_m – индукция в магните. Подставляя значение $\Delta M = (\Delta B_m / B_m) M$ в выражение для s , получаем:

$$\frac{\Delta B}{B} \frac{M}{\ln(t_1/t_0)} \frac{1}{\chi(H)} = \frac{kT}{g}. \quad (5)$$

В левой части этого уравнения все величины известны. $\Delta B/B$ – это изменение индукции в магните или поля в рабочем зазоре магнитной системы (МС) за промежуток времени между t_0 и t_1 ; M – намагниченность в магните, определяемая по кривой размагничивания при исследуемой температуре в рабочей точке магнита; $\chi(H)$ – необратимая магнитная восприимчивость, определяемая по кривой размагничивания при исследуемой температуре в соответствующей состоянии магнита рабочей точке (это угол между осью H и касательной к $M(H)$ в рабочей точке).

Таким образом, для исследуемой температуры и определённой кривой размагничивания на основе экспериментальных данных определяется величина kT/g по формуле (5), а затем для сплава с такой же кривой размагничивания по формуле (4) определяется допустимое время эксплуатации (время до начала ускоренного старения) магнита при этой температуре для любой рабочей точки.

Для практического определения температурно-временной стабильности магнитов из сплава SmCo_5 были проанализированы имеющиеся литературные данные. Эти данные, а также результаты собственных измерений приведены в табл. 2.

Таблица 2

Величина η при длительной выдержке магнитов

$T, ^\circ\text{C}$	$\eta = \Delta B/B \cdot 100 / \lg(t_1/t_0)$							
	[10]	[3]	[11]	[11]	[9]	[2]	Собственные результаты	[8]
25	–	0,05	0,1 ($\mu = -1$)	–	–	–	–	0,08 ($\mu = -1$)
100	0,33 ($\mu = -2$) 0,4 ($\mu = -0,62$)	–	–	–	–	–	–	–

Окончание табл. 2

$T, ^\circ\text{C}$	$\eta = \Delta B/B \cdot 100/\lg(t_1/t_0)$							
	[10]	[3]	[11]	[11]	[9]	[2]	Собственные результаты	[8]
150	0,96; 1; 2 (МПФС)	0,5	0,33 ($\mu = -1$)	0,83 ($H_k = 480$) 0,5 ($H_k = 640$) 0,17 ($H_k = 1280$)	0,28-0,33	0,5 ($\mu = -0,5$)	0,5 ($\mu = -0,5$)	0,08 ($\mu = -1$)
200	–	–	1,0 ($\mu = -1$) 1 ($\mu = -1,2$)	0,63 ($H_k = 320$) 0,17 ($H_k = 1280$)	0,42	–	–	0,08 ($\mu = -1$)
250	–	0,65	1,3 ($\mu = -1$)	–	0,7	–	–	0,08 ($\mu = -1$)
300	–	0,75	–	–	1,5	1,33 ($\mu = -2$) 2,0 ($\mu = -0,5$)	–	–
Начало ускоренного старения, ч	–	150 (250 $^\circ\text{C}$) 10 (300 $^\circ\text{C}$)	1000 (250 $^\circ\text{C}$)	–	110 (250 $^\circ\text{C}$) 50 (300 $^\circ\text{C}$)	15 (300 $^\circ\text{C}$, $\mu = -0,5$) 1000 (300 $^\circ\text{C}$, $\mu = -2$)	–	1000 (200 $^\circ\text{C}$) 100 (250 $^\circ\text{C}$)

Чётко виден громадный разброс значений η . Например, для 150 $^\circ\text{C}$ η колеблется от 0,17 до 2,0. Все авторы объясняют такой разброс отличием магнитных параметров сплава, из которого изготовлены исследуемые магниты, и различным положением их рабочей точки. Наиболее чёткая зависимость изменений B при длительной температурной выдержке от свойств сплава проявляется в зависимости $\Delta B/B$ от прямоугольности кривой размагничивания. Наилучшим образом прямоугольность характеризуется параметром H_k . Это величина размагничивающего поля, уменьшающая остаточную намагниченность сплава M_r на 10% [3,9-11]. При этом, по данным авторов работы [9], проводивших исследование стабильности магнитов различных поставщиков, существует значительный разброс стабильности магнитов различных изготовителей.

С целью определения стабильности применяемых магнитов конкретного изготовителя проведено исследование одной партии магнитов из сплава КС37. Магниты прогревались при температуре 150 $^\circ\text{C}$ в течение 700 ч. Измерения B в центре кольца проводились через каждые 6...20 ч выдержки при 150 $^\circ\text{C}$. Значения $\Delta B/B$ составили от 0,5 до 1,5 %. Для уменьшения разброса $\Delta B/B$ проведена сортировка магнитов по величине H_k : по измеренным кривым определено значение размагничивающего поля, соответствующего уменьшению M на 10% для кривой размагничивания с H_k не менее 800 и 560 кА/м. Для магнитов с $H_k \geq 800$ кА/м значение $\Delta B/B$ составило 0,45...0,53%, для $H_k \geq 560$ кА/м – 0,55...0,75 %.

По предлагаемой методике произведен расчёт времени, после которого начинается ускоренное старение магнитов из сплава КС37 при повышенных температурах. На основании табл. 2 определена по формуле (5) величина $\kappa T/g$ для температур 150 и 300 $^\circ\text{C}$. Результаты этих расчётов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчёт величины kT/g

$T, ^\circ\text{C}$	N	$\Delta B/B, \%$	M в рабочей точке, кА/м	$\chi(H)$	kT/g	Источник информации
150	0,69	0,015	560	0,20	6,1	[2]
150	0,67	0,015	580	0,20	6,2	Собственные результаты
300	0,33	0,038	544	0,30	10,0	[2]
300	0,33	0,049	480	0,30	11,3	[2]
300	0,67	0,060	520	0,30	15,04	[2]
300	0,33	0,060	540	0,30	15,60	[2]

На рис. 5 приведены измеренные при температурах 25, 150 и 200 °С кривые размагничивания с $H_k \geq 480$ кА/м и $H_k \geq 800$ кА/м. На них нанесены линии нагрузки, соответствующие реальным рабочим точкам $\mu = B/H$, равным -0,25 ($N = -0,8$), -0,5 ($N = -0,67$) и -1,0 ($N = -0,5$). По кривым размагничивания при температуре 150 °С определяется ΔH (это разница между H в рабочей точке и H , при котором начинается падение M , то есть когда начинает резко увеличиваться χ). Далее по формуле (4) рассчитывается время, в течение которого не наблюдается ускоренное старение магнитов. Результаты расчётов приведены в табл. 4. Здесь $t_0 = 1$.

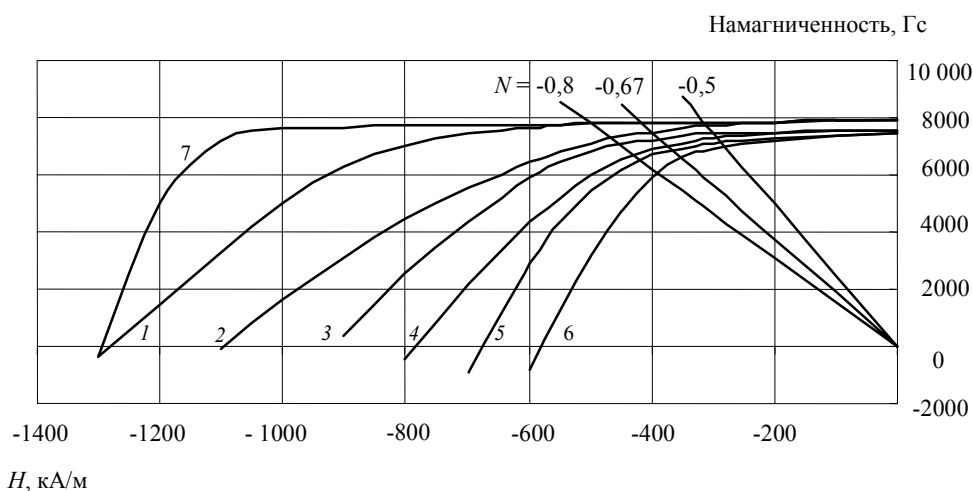


Рис. 5. Кривые размагничивания сплава КС37 при температурах 25 °С (1, 2); 150 °С (3, 4) и 200 °С (5, 6); 7 — идеальная кривая размагничивания при 25 °С

Из табл. 4 видно, что если рабочая точка расположена в районе максимума магнитной энергии ($N = -0,5$) или несколько ниже ($N = -0,67$), то магниты из сплава с $H_k \geq 480$ кА/м обеспечивают отсутствие ускоренного старения в течение порядка 400 000 ч. Для более низких рабочих точек ($N = -0,8$) при необходимости срока службы до 100 000 ч необходим сплав с $H_k \geq 800$ кА/м. Следует отметить, что за последние 20 лет технология изготовления магни-

Таблица 4

Расчёт времени, в течение которого не происходит ускоренное старение

$T, ^\circ\text{C}$	-N	H_k	kT/g	$\Delta H, \text{кА/м}$	$t_1, \text{ч (лет)}$
150	0,67	800	6,1	120	$350 \cdot 10^6$ (39 900)
150	0,67	480	6,1	80	496210 (56,6)
150	0,5	800	6,1	280	$89 \cdot 10^{18}$ ($9,8 \cdot 10^{15}$)
150	0,5	480	6,1	240	$122 \cdot 10^{15}$ ($13,9 \cdot 10^{12}$)
150	0,8	480	6,1	56	9704 (1,11)
150	0,8	800	6,1	71	113339 (12,9)

тов из сплава Sm-Co стабилизировалась, обеспечивая устойчивый выход магнитов с H_k не менее 800 кА/м (см. кривую 7 на рис. 5). Поэтому для изделий, где необходима длительная работа при повышенных температурах, уже допустим выборочный контроль по величине H_k , а не 100%-ная сортировка магнитов.

Магниты из Fe-Nd-B имеют очень большой разброс изменения B со временем, связанный с тем фактом, что частные фирмы, изготавливающие магниты из этого МТМ, в основном не имеют технических условий на МТМ и магниты из него, то есть технология их изготовления и их магнитные параметры нестабильны и время от времени изменяются. Для установившейся технологии изготовления МТМ и магнитов из него (имеются утверждённые технические условия) проверена долговечность при комнатной температуре в течение 13,5 лет. Изменения B за это время не превышают $\pm 2,0\%$.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Используемые в настоящее время МТМ обеспечивают высокую долговечность. Так, магниты из феррита бария и из сплавов типа ЮНДК за 41,5 года практически не изменили своих магнитных параметров в условиях эксплуатации при комнатной температуре даже при низких рабочих точках. При таких же условиях эксплуатации магниты из сплавов типа Sm-Co за 26,5 лет также практически не изменили свои магнитные параметры.

Для прогнозирования длительной работы магнитов из сплава Sm-Co при повышенных температурах необходимы знание кривых размагничивания используемого МТМ при температуре эксплуатации и выдержка магнитов в изделии при этой температуре не менее 50 ч с целью экспериментального определения коэффициента нестабильности η и параметра kT/g (для расчёта времени до начала ускоренного старения). Измерения магнитных параметров должны производиться с наибольшей возможной точностью и не реже чем через каждые 5 ч. Такая испытательная выдержка вызвана тем, что наибольшие изменения B происходят в начальное время, хотя по абсолютной величине они очень малы, и для чёткой фиксации изменений B необходимы статистические данные за достаточно большой промежуток времени. На основании полученных для конкретного образца экспериментальных данных определяется значение η и по

формуле (1) рассчитывается изменение параметров магнита на желаемое время. По параметру kT/g , также определяемому из полученных экспериментальных данных, и по кривой размагничивания используемого МТМ при желаемой температуре с помощью формулы (4) определяется время до начала ускоренного старения. Следует отметить, что в случае использования МТМ с кривой размагничивания, показанной на рис. 5 (кривая 7), время до начала ускоренного старения при любой реальной рабочей точке и при температуре до 300 °С значительно превышает 100 лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Миткевич А.В. Стабильность постоянных магнитов. – Л.: Энергия, 1971. – 128 с.
2. Меркулова Г.Я. О механизме магнитного старения SmCo_5 магнитов при повышенных температурах // ЖТФ. – 1979. – Т. 49, № 1. – С. 163-167.
3. Сергеев В.В., Булыгина Т.И. Магнитотвёрдые материалы. – М.: Энергия. – 224 с.
4. Hermann E. Dietrich. Interdependence of thermal aftereffect and natural aging in permanent magnet materials // IEEE Trans. on Magn. – June 1970. – Vol. Mag-6, No 2. – P. 272-275.
5. Street R. and Wooly J.C. A study of magnetic viscosity // Proc. Phys. Soc. – 1949. – Vol. 62A. – P. 562-572.
6. Neel L. Theorie de trainage magnetique des substances massives dans le domaine de rouleigh // Journ. Phys. Radium. – 1950. – Vol. 11. – P. 49.
7. Лантей Д.А., Жилин Г.Н. Магнитное последствие в высококоэрцитивных сплавах // Известия АН СССР. Серия Физическая. – 1972. – Т. XXXVI. – С. 1611-1613.
8. An Investigation of the aging of thermally prestabilized sintered samarium-cobalt magnet / H.F. Mildrum, M.F. Hartings, K.D. Wang, K.J. Strnat // IEEE Trans. Magnetism. – 1974. – Vol. 2, No 3. – P.723.
9. Mildrum H., Iden D. Magnetic and physical properties of commercially available rare-earth-cobalt permanent magnet // Каталог фирмы “Goldschmidt”, USA. – December 1975. – P. 54-62.
10. Севостьянов В.П., Петров А.М. Временная нестабильность МПФС на магнитах из сплава SmCo_5 при повышенных температурах // Электронная техника. Сер. 6, Материалы. – 1975. – Вып. 7 (88). – С. 38-44.
11. Милдрен Х.Ф., Вонг К.М. Стабильность и термоциклирование R-Co магнитов // Магниты из сплавов редкоземельных магнитов с кобальтом: сб. – М.: Металлургия, 1978.

Статья поступила 27 июля 2007 г.

ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОПЫТ

УДК 621.385.6.019.3

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ИСПЫТАНИЙ

П. И. Цай, В. Г. Жуков, А. Ю. Филатов

ФГУП «НПП «Исток», г. Фрязино

Приведены результаты опытной эксплуатации в течение нескольких лет автоматизированной системы контроля испытаний СВЧ-изделий на безотказность, долговечность и воздействие термовлажностных факторов с использованием персональных компьютеров. Описан алгоритм измерений параметров изделий и режимов испытаний. Приведен расчет погрешностей при измерениях стендовыми стрелочными приборами и автоматизированном контроле.

The results of experimental operation of automated system, conducted for several years using personal computers, for test monitoring of microwave devices for failure-free, long life and influence of thermal - humidity factors have been given. The algorithm of measuring parameters and modes of tests is described. The calculation of errors while measuring with pointer-type measuring instruments and using automated monitoring is shown.

1. ВВЕДЕНИЕ

Значительное усложнение радиоэлектронной аппаратуры требует постоянного повышения качества и надежности ее компонентов.

Важной экспериментальной основой повышения качества и надежности аппаратуры и ее компонентов являются испытания.

Основной целью испытаний является контроль качества технологии и требований технической документации.

Для повышения качества и надежности выпускаемых изделий разрабатываются специальные методы испытаний, обеспечивающие наибольшую информативность и эффективность [1].

Повышению качества испытаний в немалой степени способствует внедрение автоматизации с использованием персональных компьютеров.

В настоящей статье обобщен опыт экспериментальных исследований по автоматизации испытаний изделий СВЧ на безотказность, долговечность, воздействие температурно-влажностных факторов.

Применение автоматизированного контроля при электротермотренировках повышает эффективность выявления скрытых дефектов.

2. ПРИНЦИП РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ

Автоматизированная система контроля (АСК) предназначена для измерения и контроля параметров испытываемых на безотказность и долговечность СВЧ-изделий, а также параметров окружающей среды в термовлагокамерах и передачи полученной информации в центральный компьютер. АСК состоит (рис. 1): из испытуемого изделия со стендом безотказности и термокамеры; периферийного объекта телеметрии (ПОТ) с аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и коммутатором; линии однопроводной связи до 1000 м (в данном случае 120 м); центрального процессора (компьютера «Пентиум»); интерфейса последовательного канала связи ПОТ с центральным компьютером; печатающего устройства.

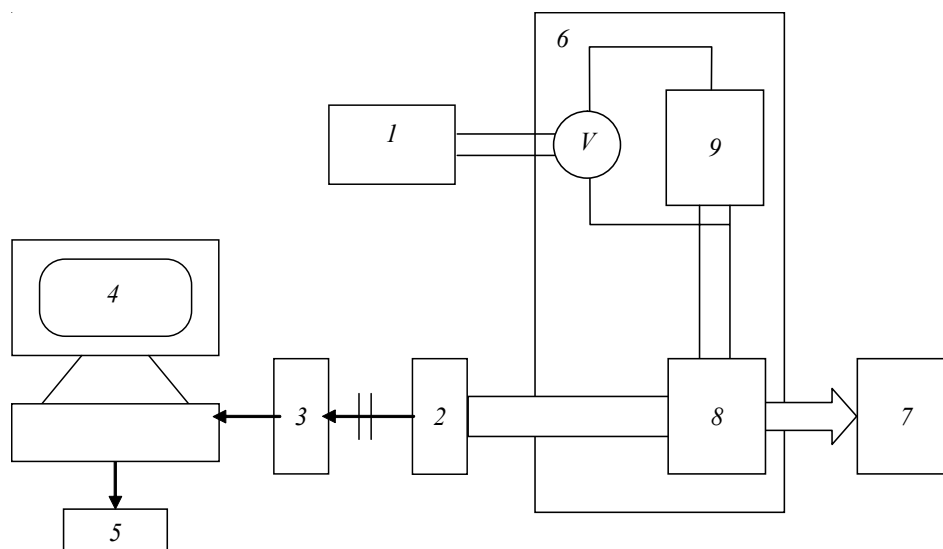


Рис. 1. Схема АСК и подключения измерительных приборов при метрологической поверке:

1 – цифровой вольтметр В7-34; 2 – периферийный объект телеметрии с АЦП и коммуникатором; 3 – интерфейс последовательного канала; 4 – персональный компьютер; 5 – принтер; 6 – стенд безотказности и долговечности; 7 – термокамера; 8 – источник питания; 9 – переключатель

Центральный компьютер оформляет пакет запросов к блокам ПОТ, подключенным к разным линиям, и передает пакет в устройство связи, которое рассылает запросы одновременно по всем линиям, затем принимает ответы от запрашиваемых блоков ПОТ и передает их в центральный компьютер.

Сеанс обмена длится около 1 с, при этом в ответе блока ПОТ содержится информация о состоянии всех его датчиков и значения аналоговых параметров (по одному за один сеанс).

После обработки ответов компьютер отображает полученную информацию на экране, затем формирует следующий пакет запросов и т.д.

Полученные от блоков ПОТ данные сохраняются в архивных файлах длительное время.

Информация о срабатывании дискретных датчиков хранится в виде протокола с фиксацией времени срабатывания (с точностью до 1 с).

Программа обеспечивает запоминание величины допуска задаваемых параметров режима, сравнение их с измеренными значениями отклонений и при превышении их по величине допустимых отклонений отключает цепь питания испытываемого изделия.

Программно-математическое обеспечение разработано применительно к современным компьютерам «Пентиум».

В настоящее время проводится корректировка программно-математического обеспечения по введению второй зоны допуска на параметр, выход за пределы которой оценивается как сбой.

3. РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ СТЕНДОВЫМИ СТРЕЛОЧНЫМИ ПРИБОРАМИ И АЦП

Расчет погрешностей стендовых приборов приведен в табл.1.

Таблица 1

Наименование приборов	Тип	Показания шкалы, ед.изм.	Класс точности	Погрешность, % от всей шкалы	Абсолютное значение погрешности, ед. изм.
Вольтметр	В7-34	25 В	1,5	$\pm 1,5$	$\pm 0,375$ В
Микроамперметр	М-501	500 мА	2,5	$\pm 2,5$	$\pm 12,5$ мА

АЦП: максимальная разрядность – 2^{12} (или 4096); цена разряда – 0,00125.

Погрешность блока телеметрии ПОТ определяется разрядностью АЦП и уровнями шумов в тракте и составляет 0,00125 %.

Из табл. 1 видно, что погрешность измерения стендовыми стрелочными приборами составляет $\pm 1,5\%$ при измерении напряжения и $\pm 2,5\%$ – для тока.

Помехи вызывают «мерцание» младших разрядов АЦП.

Устранение влияния помех осуществляется путем вычисления среднего значения измеряемого параметра за определенное время измерения (10...20 отсчетов).

Порядок определения погрешности методов следующий.

1. После включения и прогрева стенда, пользуясь регулировками «ГРУБО» или «ТОЧНО», устанавливают испытательные напряжения для каждой позиции стенда, согласно ТУ на изделие, по цифровому вольтметру В7-34 (образцовый прибор).

2. Определяют по электронной таблице на экране монитора компьютера, подключенного к телеметрическому каналу ПОТ, измеренные значения напряжений для каждой позиции испытуемого изделия.

3. Результаты измерений записывают в табл.2 для определения погрешности измерений напряжения для каждого источника питания.

4. Абсолютную погрешность рассчитывают по формуле: $\sigma = V_{\text{изм(В7-34)}} - V_{\text{изм(ПОТ)}}$, где σ – абсолютная погрешность; $V_{\text{изм(В7-34)}}$ – напряжение, измеренное образцовым прибором; $V_{\text{изм(ПОТ)}}$ – напряжение, измеренное телеметрическим блоком ПОТ.

Таблица 2

Номер измерения	Значение, установленное по образцовому прибору	Показание ПОТ	Абсолютное значение погрешности	Относительная погрешность, %
Измерение напряжения, В				
1	18,05	18,04	0,01	0,055
2	18,05	18,14	0,09	0,5
3	18,05	18,04	0,01	0,55
4	18,05	18,00	0,05	0,27
5	18,05	18,08	0,03	0,16
6	18,05	18,11	0,06	0,333
7	18,05	18,11	0,06	0,333
8	18,05	18,04	0,01	0,055
9	18,05	18,04	0,01	0,055
			$\sigma_{\text{ср}} = 0,034$	$\Delta_{\text{ср}} = 0,219 \%$
Измерение тока, А				
1	180	180,51	0,510	0,28
2	180	180,22	0,220	0,12
3	160	160,10	0,100	0,05
4	160	159,90	0,100	0,05
			$\sigma_{\text{ср}} = 0,23$	$\Delta_{\text{ср}} = 0,12 \%$
Измерение температуры, °С				
1	70	71	1	1,4
2	70	70	0	0
3	70	71	1	1,4
4	70	69	1	1,4
5	70	70	0	0
			$\sigma_{\text{ср}} = 0,06$	$\Delta_{\text{ср}} = 0,84 \%$

Аналогично проводятся измерения токов и температуры окружающей среды.

Паспортная погрешность вольтметра В7-34 составляет 0,018%.

На основании проведенных анализов и измерений установлено, что погрешность измерения параметров изделий при использовании АСК составляет на 2 порядка выше, чем при измерениях стендовыми стрелочными приборами.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АСК ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА БЕЗОТКАЗНОСТЬ, ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И ТЕРМОВЛАЖНОСТНЫЕ ФАКТОРЫ

Экспериментальная эксплуатация показала, что автоматизированная система контроля испытаний на безотказность и долговечность типичных серийно выпускаемых СВЧ-изделий обеспечивает высокую точность контроля параметров, помехозащищенность до 120 м, автома-

тическую непрерывную запись контролируемых параметров, аварийное отключение объекта испытания при превышении значений пределов допусков, выдачу протоколов испытаний.

При этом периодичность непрерывной записи измеряемых параметров может регулироваться от 5 с до 2 ч. Таким образом, применяя АСК можно контролировать деградации контролируемых параметров непрерывно.

На рис. 2 и в табл. 3, 4 приведены фрагменты записи контроля испытываемых изделий. Здесь же указаны дата испытания, часы контроля, периодичность опроса (в данном случае через 1 ч), подаваемые напряжения на изделия и контролируемый ток нагрузки, а также температура окружающей среды. Видно, что поддержание напряжения и измеряемых токов нагрузки осуществляется с большей точностью и стабильностью. Температура также фиксируется с точностью до десятых долей градусов.

В табл. 5 приведены результаты контроля задаваемых в камере параметров влажности и температуры, а также дата, часы и общая наработка.

Для измерения параметра влажности использовался датчик, разработанный фирмой «Микрофор» (Зеленоград).

В датчиках влажности впервые использовался современный сорбционно-емкостный сенсор влажности. Это позволило измерять параметр влажности абсолютным методом непосредственно в относительных единицах (%), в отличие от традиционно применяемого метода двух термометров.

5. ПРЕИМУЩЕСТВО АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ

Достижение высокой точности задаваемых и контролируемых параметров испытываемых изделий, а также возможности представления контролируемых текущих параметров в графическом виде дает наглядную картину деградации и деформации параметров – критерия годности изделий, что существенно важно при анализе надежности изделий [2].

Помимо качественных преимуществ, внедрение АСК коренным образом изменит конструкцию стендов безотказности и долговечности. На рис. 3 представлен один из типичных стендов безотказности и долговечности. Видно, что стенд содержит большое количество стендовых стрелочных приборов (в данном случае 65). С внедрением автоматизированных измерений надежность в стрелочных приборах отпадет, их заменят миниатюрные калиброванные шунты номиналом 0,1...0,2 Ом. При этом габариты стендов и их металлоемкость резко сократятся, а стенд превратится в настольный прибор.

Эти мероприятия позволят поднять не только эффективность и производительность испытаний, но и качественно изменить вид испытательных участков.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанная автоматизированная система в настоящий момент опробована при испытаниях изделий в статическом режиме.

Внедрение АСК и ее испытание в реальном технологическом процессе необходимо при автоматизации сложных изделий и производств с активным управлением и регулированием режимов испытаний.

АСУ «Линия-16м». Архивный файл F0000
 Объект: M41144-M41155
 Месяц: Июнь 2004 г.

Перечень измеряемых параметров:

1. U01 = Напряжение-01
2. I01 = Ток-01
3. U02 = Напряжение-02
4. I02 = Ток-02
5. U03 = Напряжение-03
6. I03 = Ток-03
7. U04 = Напряжение-04
8. I04 = Ток-04
9. U05 = Напряжение-05
10. I05 = Ток-05
1. U01 = Напряжение-01

Среднечасовые параметры:											ТК
	U01	I01	U02	I02	U03	I03	U04	I04	U05	I05	
19 июн 0 ч	18.024	173.67	17.739	164.824	17.94	182.789	17.931	148.59	17.893	161.345	16
19 июн 1 ч	18.024	173.67	17.739	164.824	17.94	182.789	17.931	148.59	17.893	161.345	70.9
19 июн 2 ч	18.024	173.67	17.81	164.824	17.94	182.789	17.931	148.59	17.893	161.345	68.3
19 июн 3 ч	18.024	173.67	17.81	164.824	17.94	182.789	17.931	148.59	17.893	161.345	70.9
19 июн 4 ч	18.024	173.67	17.81	164.824	17.94	182.789	17.931	148.59	17.893	161.345	68.3
19 июн 5 ч	18.024	173.67	17.81	164.824	17.94	182.789	17.931	148.59	17.893	161.345	68.3
19 июн 6 ч	18.024	173.67	17.81	164.824	17.94	182.789	17.931	148.59	17.893	161.345	70.9
19 июн 7 ч	18.024	173.67	17.81	164.824	17.94	182.789	17.931	148.59	17.893	161.345	70.9
19 июн 8 ч	18.024	173.67	17.81	164.824	17.94	182.789	17.931	148.59	17.893	161.345	68.3
19 июн 9 ч	18.024	173.67	17.81	164.824	17.94	182.789	17.931	148.59	17.893	161.345	68.3
19 июн 10 ч	18.024	173.67	17.81	164.824	17.94	182.789	17.931	148.59	17.893	161.345	70.9

Рис. 2. Пример записи контролируемых и задаваемых параметров

Таблица 3

Протокол испытания

Начало: 09.01.2007 / 11:27:33

Окончание: 12.02.2007 / 8:24:03

Тип: АЦП-48

Дата	Час	Блок/Канал:	3/5	3/6	3/7
		Изделие:	M421265	M421265	M421265
Дата	Час		мА/В	мА/В	мА/В
09.01.2007	11:27:33		67.00/9.63	64.88/9.26	96.38/9.38
...	11:27:39		80.18/12.01	64.88/9.26	96.12/9.39
...	11:27:45		78.73/12.02	140.00/12.00	96.50/9.38
...	11:27:51		77.85/12.01	138.92/12.00	104.46/12.01
...	11:27:57		77.85/12.01	140.00/12.00	104.46/12.00
...	12:28:06		52.53/12.68	95.76/12.43	70.32/1.09
...	13:28:08		77.85/12.67	139.46/12.43	104.86/12.62
...	14:28:11		78.15/12.68	140.27/12.45	104.46/12.65
...	15:28:16		77.85/12.68	140.00/12.44	104.59/12.62
...	16:28:20		77.85/12.69	140.27/12.45	104.46/12.63
...	17:28:21		80.18/12.68	140.27/12.42	104.59/12.64
...	18:28:26		78.00/12.69	140.27/12.45	104.46/12.63
...	19:28:29		77.71/12.69	140.54/12.45	104.59/12.63
...	20:28:31		78.00/12.69	140.54/12.43	104.46/12.64
...	21:28:37		78.15/12.69	140.54/12.47	104.46/12.64
...	22:28:38		78.00/12.69	140.54/12.46	104.46/12.63
...	23:28:40		78.00/12.69	141.62/12.46	104.73/12.63
10.01.2007	0:28:46		77.85/12.69	140.54/12.46	104.59/12.63
...	1:28:48		78.29/12.68	140.54/12.46	104.46/12.64

Таблица 4

Протокол испытания

Начало: 18.09.2006 / 10:27:55

Окончание: 18.09.2006 / 14:40:00

Тип: АЦП-48

Дата	Час	Блок/Канал:	2/0	2/1	2/2
		Изделие:	M41114- M41155	M41114- M41155	M41114- M41155
Дата	Час		мА/В	мА/В	мА/В
18.09.2006	10:27:55		147.38/16.85	145.38/16.72	149.88/16.73
...	10:28:02		147.38/16.84	145.25/16.72	150.00/16.72
...	10:28:09		147.38/16.86	145.38/16.72	150.00/16.71
...	10:28:16		147.25/16.84	145.38/16.72	149.62/16.70
...	10:28:23		147.25/16.85	145.38/16.71	149.88/16.72
...	10:28:30		147.38/16.84	145.50/16.72	149.88/16.72
...	10:28:37		147.38/16.84	145.25/16.74	149.88/16.72
...	10:28:44		147.25/16.85	145.50/16.72	149.88/16.74
...	10:28:51		147.38/16.85	145.38/16.72	149.88/16.72
...	10:28:58		147.25/16.85	145.38/16.72	149.88/16.72
...	10:29:05		147.25/16.85	145.62/16.72	149.88/16.72
...	10:29:12		147.38/16.85	145.50/16.72	150.00/16.72
...	10:29:19		147.00/16.85	145.88/16.66	149.88/16.72
...	10:29:26		147.38/16.85	145.38/16.72	149.88/16.73
...	10:29:33		147.00/16.85	145.38/16.72	150.00/16.72
...	10:29:40		147.25/16.85	145.38/16.72	149.88/16.72
...	10:29:47		147.25/16.85	145.38/16.72	150.00/16.72
...	10:29:54		147.38/16.85	145.75/16.72	149.75/16.72
...	10:30:01		147.25/16.86	145.38/16.72	149.88/16.73

Таблица 5

Измерение температуры и влажности

Файл Действия Окно Справка

Наименование прибора: Образцы Глазурь 14 сут

Ошибка ожидания ответа датчика ДВ2ТС

Автоматическое завершение

☒ Интервал 0 2 часа

☐ Время и date 10:01:06 01.02.2006

Пришло времени Температура Влажность

1159 час 39.22°C 93.51%

Дата	Время	Температура °C	Влажность
22.02.2006	0:50:48	39.7	96.0
...	2:50:50	39.8	95.9
...	4:51:07	40.0	94.9
...	6:51:30	40.0	95.1
...	8:51:41	40.0	95.5
...	10:51:58	39.7	95.1
...	12:52:11	39.5	95.9
...	14:52:13	36.1	99.9
...	16:52:17	32.5	99.9
...	18:52:19	29.9	100.0
...	20:52:23	28.0	100.0
...	22:52:28	26.7	100.0
23.02.2006	0:52:37	25.7	100.0
...	2:52:45	25.0	100.0
...	4:52:50	24.5	100.0
...	6:52:59	24.1	100.0
...	8:53:08	23.8	100.0
...	10:53:15	23.6	100.0
...	12:53:20	23.5	100.0
...	14:53:27	23.4	100.0
...	16:53:36	23.3	100.0
...	18:53:46	23.3	100.0
...	20:53:51	23.2	100.0
...	22:53:56	23.1	100.0
24.02.2006	0:54:03	23.0	100.0
...	2:54:11	22.9	100.0
...	4:54:17	22.8	99.9
...	6:54:25	22.6	99.9
...	8:54:27	28.3	95.7

Наименование прибора: Замена датчика

Заводской номер датчика ДВ2ТС

Автоматическое завершение

☐ Интервал 0 2 часа

☒ Время и date 1:02:06 07.02.2006

Пришло времени Температура Влажность

1159 час 22.82°C 0.14%

Дата	Время	Температура °C	Влажность
...	6:55:04	52.9	8.8
...	8:55:17	53.0	11.2
...	10:55:33	53.2	8.6
...	12:55:52	53.7	4.0
...	14:56:07	53.7	13.8
...	16:56:09	53.8	80.7
...	18:56:15	53.7	63.0
...	20:56:31	53.7	8.8
...	22:56:47	53.1	0.9
26.02.2006	0:57:02	53.6	12.6
...	2:57:16	53.8	18.5
...	4:57:31	53.9	19.1
...	6:57:48	53.8	3.4
...	8:57:58	53.1	5.6
...	10:58:13	51.9	6.2
...	12:58:28	52.0	40.2
...	14:58:45	52.0	20.1
...	16:59:01	51.9	9.5
...	18:59:17	53.4	18.8
...	20:59:35	53.8	12.0
...	22:59:53	54.0	10.5
27.02.2006	1:00:11	54.3	13.6
...	3:00:29	54.2	28.1
...	5:00:37	54.1	12.3
...	7:00:44	53.9	11.4
...	9:00:50	47.8	1.5
...	11:01:04	21.1	0.8
...	13:01:13	22.0	2.2
...	15:01:17	22.2	1.4

Пуск C++Builder 6 McBarp

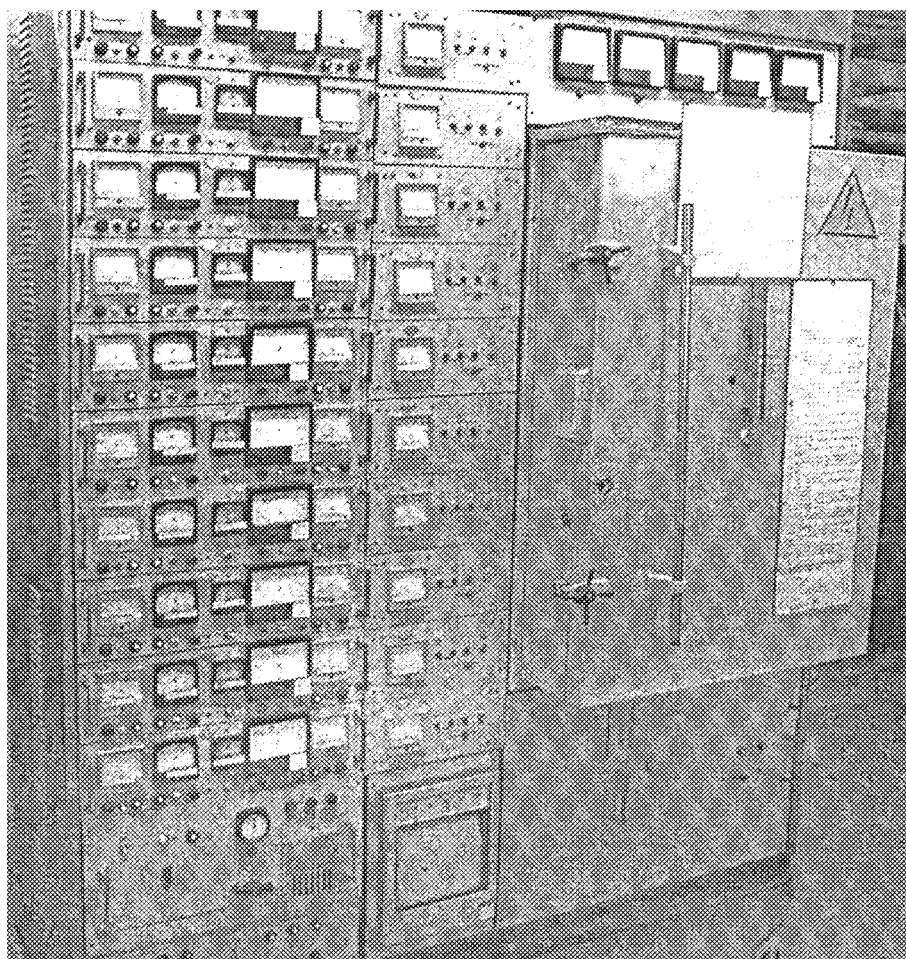


Рис. 3. Типичный стенд безотказности и долговечности

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоров А., Сергеев Н., Кондрашин А. Контроль испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств. – М.: Техносфера, 2005.
2. Вальков В.М., Максимов М.Л. Проектирование автоматизированных участков испытаний изделий микроэлектроники // Электронная техника. Сер.8. Управление качеством и стандартизация. – 1983. – Вып.1.

Статья поступила 5 марта 2008 г.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.375.4.029.64

ВХОДНЫЕ УСИЛИТЕЛИ В ДИАПАЗОНАХ ЧАСТОТ 18...26 И 26...40 ГГц

Э. И. Рыжик

ФГУП «НПП «Исток», г. Фрязино

Представлены результаты разработки входных транзисторных усилителей в диапазонах частот 18...26 и 26...40 ГГц. Существенной особенностью усилителей является встроенная защита от случайной входной СВЧ-мощности до величины 0,5 Вт. Рассмотрены конструкция и технология изготовления усилителей, схема усилительного каскада, приведены СВЧ-параметры.

The results of development of input transistor amplifiers within 18...26 and 26...40 GHz frequency ranges are given. The significant feature of amplifiers is their built-in protection against random input microwave power up to 0.5 W. The design and manufacturing technology of the amplifiers, and the amplifying stage circuit are considered, microwave parameters are shown.

1. ВВЕДЕНИЕ

Одной из тенденций развития современной радиоэлектронной аппаратуры является продвижение ее в область коротких (сантиметровых и миллиметровых) длин волн. Отсутствие в отечественной промышленности серийно выпускаемых усилителей в мм-диапазоне сдерживает развитие этого направления.

Представленные в данной работе входные транзисторные усилители могут быть использованы в современных системах радиоэлектронной разведки, радиоэлектронной борьбы, связи и других различных системах.

2. КОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ

При разработке усилителей использованы базовые гибридно-интегральные конструкция и технология транзисторных усилителей на основе тонкопленочных микрополосковых линий, которые подтвердили свою жизнеспособность в процессе промышленного производства транзисторных усилителей см-диапазона. Учитывая широкополосность разрабатываемых усилителей, выбрана балансная схема построения усилительного каскада. В качестве 3-дБ делителя мощности применен мост Ланге, оптимизированный в диапазоне частот 18...40 ГГц. Это позволило разработать унифицированную схему каскада усилителя в диапазонах 18...26 и 26...40 ГГц. Различные согласующие и выравнивающие цепи в требуемых диапазонах формировались в процессе изготовления усилителей. Электрическая схема усилителя с общим истоком и автосмещением в цепи истока допускает использование однопо-

лярного питания. Плата усилителя содержит разделительные и блокировочные конденсаторы и набор резисторов в цепи стока и истока для установки режима работы транзисторов. В усилителе использованы транзисторы, разработанные на ФГУП «НПП «Исток» (руководитель работ Земляков В.Е.). Микрополосковая плата припаивалась к золоченому металлическому основанию припоем AuSi. После сборки и настройки плата усилителя монтировалась в корпус. Были разработаны два варианта конструкции корпуса с использованием материалов титана и Д16Т и герметизацией корпуса лазерной сваркой и клеем на основе эпоксидных смол. После герметизации прибор откачивался и заполнялся аргоном. В состав усилителя также вошли плата стабилизатора напряжения на основе микросхемы Б142ЕН5Г-4 и плата ограничителя мощности с ограничительным диодом, разработанным на ФГУП «НПП «Исток» (Гудкова Н.Б.). Габаритные размеры усилителя: 75x20x12 мм. Длина усилителя (75 мм) может быть существенно уменьшена.

3. СВЧ-ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЕЙ

Применение в усилителях транзисторов, созданных на основе высокоэффективных гетероструктур AsGa, дало возможность существенно сократить количество каскадов усилителей в приборах. При средней величине коэффициента усиления каскада 9 дБ в диапазоне частот 18...26 ГГц и 7 дБ в диапазоне частот 26...40 ГГц количество каскадов в приборе соответственно составило 3-4 и 4-5 штук. Количество каскадов усилителей в приборе может быть различным в зависимости от величины требуемого коэффициента усиления прибора.

На рис. 1 и 2 приведены амплитудно-частотные характеристики усилителей в диапазонах частот 18...26 и 26...40 ГГц. Видно, что минимальный коэффициент усиления равен 25 дБ, а неравномерность коэффициента усиления составляет не более 2 дБ в диапазоне частот 18...26 ГГц и не более 2,5 дБ в диапазоне частот 26...40 ГГц.

Коэффициент шума усилителей, содержащих защитное устройство, не превышает 7 дБ в диапазоне частот 18...26 ГГц и равен не более 9...10 дБ в диапазоне частот 26...40 ГГц. Выходная мощность в режиме насыщения составляет 25...30 мВт в диапазоне частот 18...26 ГГц и 15...25 мВт в диапазоне частот 26...40 ГГц. Проведенные исследования показали, что вых-

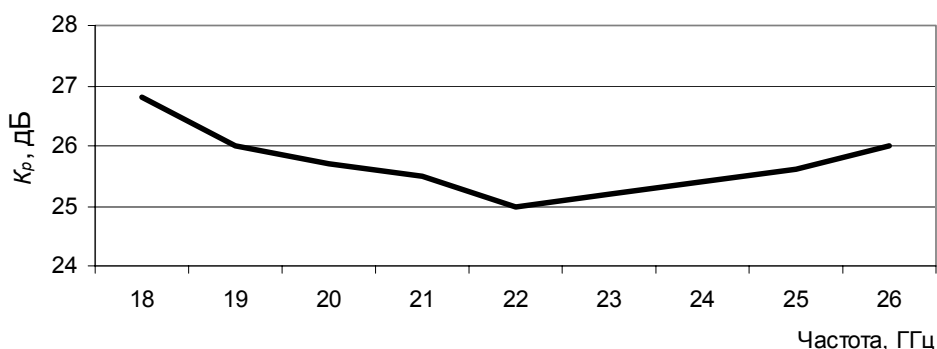


Рис. 1. Амплитудно-частотная характеристика усилителя в диапазоне 18...26 ГГц

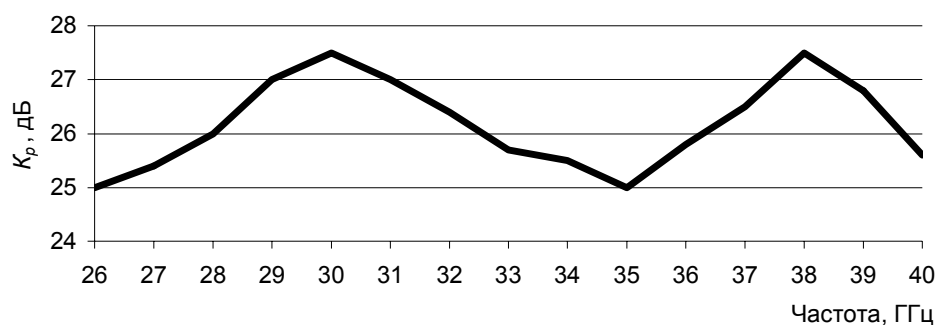


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика усилителя
в диапазоне 26...40 ГГц

ная мощность в диапазоне частот 18...26 ГГц может быть увеличена до 150 мВт, а в диапазоне частот 26...40 ГГц до 50 мВт. Напряжение питания усилителей – 9 В, потребляемый ток – не более 150 мА.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны входные транзисторные усилители в диапазонах частот 18...26 и 26...40 ГГц с коэффициентом шума не более 7 и 10 дБ, коэффициентом усиления не менее 25 дБ, неравномерностью коэффициента усиления не более 3 дБ и выходной мощностью насыщения не менее 25 и 15 мВт соответственно. В усилители встроен ограничитель мощности, обеспечивающий их защиту от случайной входной мощности до 0,5 Вт.

Статья поступила 14 января 2008 г.

УДК 621.375.121

ВХОДНЫЕ ШИРОКОПОЛОСНЫЕ УСИЛИТЕЛИ-ОГРАНИЧИТЕЛИ В ДИАПАЗОНАХ ЧАСТОТ 2...4,5 И 4...8 ГГц

В. Г. Виноградов, Н. Б. Гудкова, Э. И. Рыжик, С. В. Ефимова

ФГУП «НПП «Исток», г. Фрязино

Представлены результаты разработки входных усилителей-ограничителей в диапазонах частот 2...4,5 и 4...8 ГГц с уровнем ограничения выходной мощности (10 ± 1) дБ·мВт в диапазоне входных сигналов -75...-10 дБ·Вт и уровнем подавления 2-й гармоники не менее 20 дБ. Рассмотрены конструкции усилителей-ограничителей, проведен расчет ограничителей, приведены СВЧ-характеристики.

The results of development of input limiters-amplifiers in 2...4.5 and 4...8 GHz frequency ranges with output power limitation level (10 ± 1) dB.mW in input signal range -75...-10 dBW and rejection level of the second harmonic not less than 20 dB are given. Designs of limiters-amplifiers were considered, calculation of limiters was done, microwave characteristics are presented.

1. ВВЕДЕНИЕ

В некоторых радиоэлектронных устройствах, в частности в измерителях мгновенной частоты (ИМЧ), одним из основных требований, предъявляемых к входным усилителям, является стабильность выходной мощности в широком диапазоне входных сигналов.

Обычно уровень 2-й гармоники является наибольшим из всех уровней гармонических составляющих сигнала. Для усилителей с рабочей полосой меньше октавы возможна реализация усилителя-ограничителя как обычного линейного усилителя, работающего в режиме насыщения. При этом гармонические составляющие можно подавить с помощью фильтров.

В широкополосных усилителях с рабочей полосой октава и более 2-я гармоника сигнала попадает в рабочий диапазон частот усилителя и усиливается соответственно. В режиме насыщения уровень 2-й гармоники составляет -10 дБ относительно уровня 1-й гармоники, что является недостаточным для ИМЧ.

Таким образом, главная особенность усилителя-ограничителя – подавление 2-й гармоники сигнала до приемлемого уровня (-20 дБ). Кроме того, приемное устройство должно обладать высоким быстродействием при приеме входных сигналов. Таким требованиям отвечает схема усилителя-ограничителя, в которой усилитель работает в линейном режиме, а функцию ограничения выполняет ограничитель на паре диодов, включенных в линию передачи встречно-параллельно.

2. РАСЧЕТ СХЕМЫ ОГРАНИЧИТЕЛЯ

Основным требованием, предъявляемым к ограничительному диоду, является низкий уровень выходной мощности при уровне входной до 100 мВт. Для того чтобы каскад усилителя, на который подается эта мощность, работал в линейном режиме (применение мощных транзи-

стором нецелесообразно по причине более высоких энергетических затрат на 1 дБ усиления), этот уровень не должен превышать 1...2 мВт.

В настоящей работе был использован смесительный кремниевый диод с балочными выводами и $C_d = 0,15$ пФ, $R_s = 10$ Ом. В схеме ограничителя для уменьшения величины выходной мощности использованы две пары ограничительных диодов. Схема также содержит входную и выходную согласующие цепи в виде связанных микрополосковых линий и индуктивность, расположенную между диодными парами (рис.1).

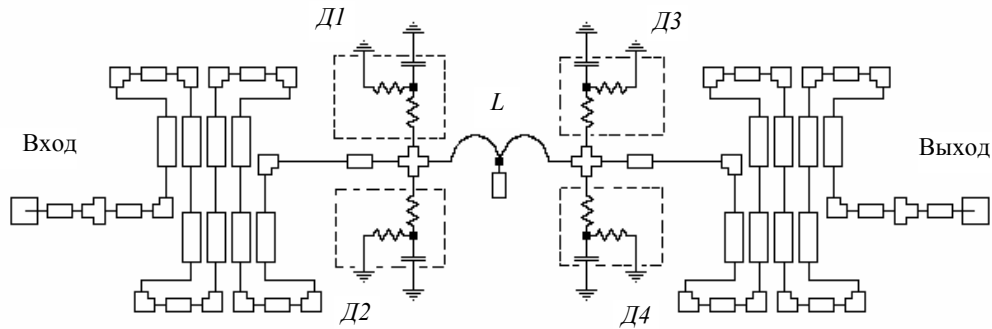


Рис. 1. Эквивалентная схема ограничителя

Расчет схемы проведен для двух режимов работы ограничителя: для слабого и сильного сигнала – на основе эквивалентной схемы ограничителя при $R_d = 2000$ и 2 Ом.

Результаты расчета для оптимизированных схем в диапазонах частот 2...4,5 и 4...8 ГГц приведены на рис. 2, 3.

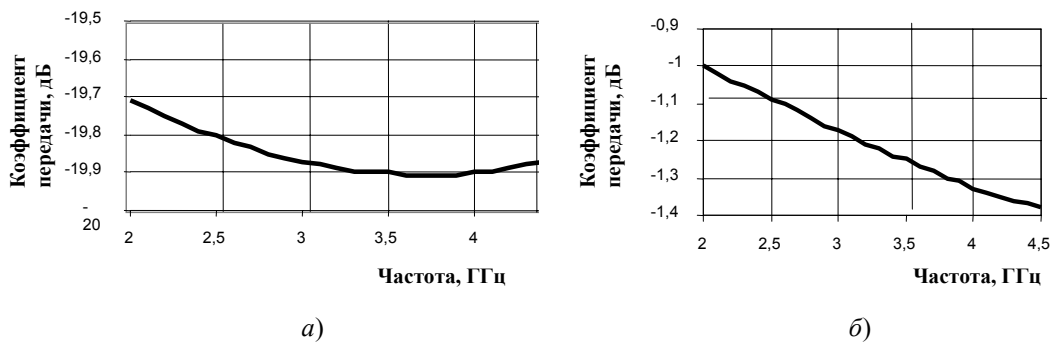


Рис. 2. Коэффициент передачи ограничителя в режиме сильного (а) и слабого (б) сигнала в диапазоне частот 2...4,5 ГГц

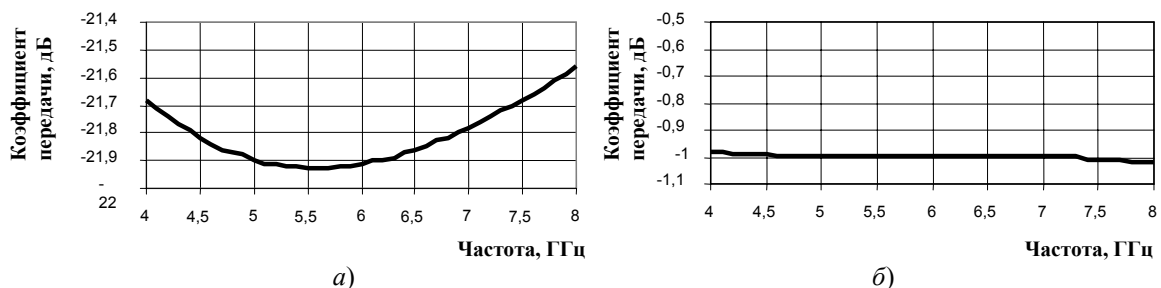


Рис. 3. Коэффициент передачи ограничителя в режиме сильного (а) и слабого (б) сигнала в диапазоне частот 4...8 ГГц

В диапазоне частот 2...4,5 ГГц в режиме слабого сигнала КСВН входа составляет не более 2,2, а потери – не более 1,5 дБ. В режиме сильного сигнала ослабление сигнала превышает 19 дБ.

В диапазоне частот 4...8 ГГц в режиме слабого сигнала КСВН входа равен не более 2,2, а потери – не более 1,1 дБ. В режиме сильного сигнала ослабление сигнала превышает 21 дБ.

Из результатов расчета следует, что выходная мощность ограничителей при входной мощности 100 мВт не будет превышать 2 мВт.

3. КОНСТРУКЦИЯ

Топологии плат усилителя-ограничителя в диапазонах частот 2...4,5 и 4...8 ГГц приведены на рис. 4 и 5. Платы содержат ограничитель на трех парах диодов, П-образные аттенюаторы на входе и выходе усилителя и балансный усилитель. Увеличение количества диодных пар до трех по сравнению с расчетным вызвано недостаточным ограничением входной мощности из-за технологического разброса параметров диодов. Платы выполняются по гибридно-интегральной технологии, припаиваются к металлическому основанию припоем AuSi и монтируются в корпус с помощью винтов. Всего в корпусе находятся семь плат усилителя-ограничителя. Усилитель-ограничитель содержит также модулятор с глубиной модуляции 50 дБ. Размеры усилителя-ограничителя: 100×60×12 мм.

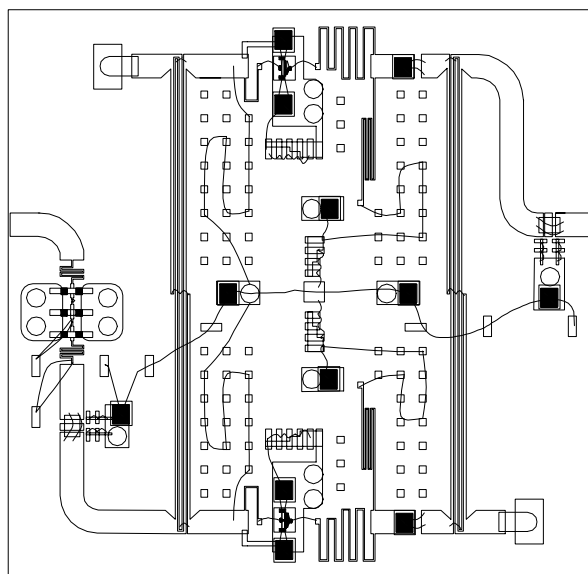


Рис. 4. Топология платы усилителя-ограничителя в диапазоне 2...4,5 ГГц

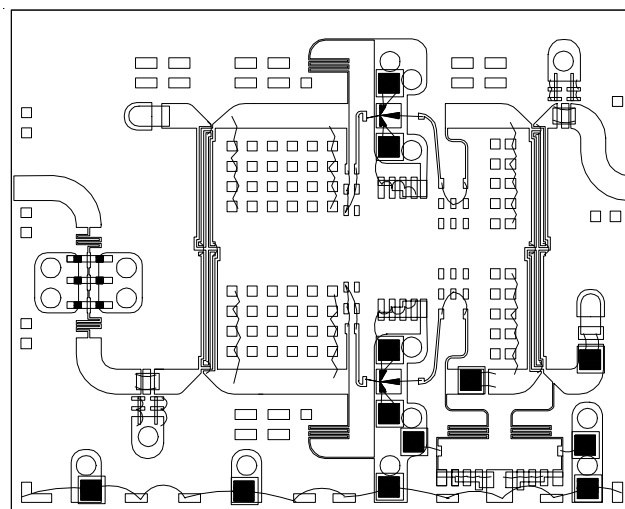


Рис. 5. Топология платы усилителя-ограничителя в диапазоне 4...8 ГГц

4. СВЧ-ПАРАМЕТРЫ

Количество плат в усилителе-ограничителе определяется минимальным значением входного сигнала, при котором усилитель-ограничитель работает в режиме ограничения мощности. При минимальном значении входного сигнала -75 дБ·Вт и значении выходной мощности в режиме ограничения -20 дБ·Вт усиление усилителя-ограничителя составляет 55 дБ. При усилении каждой платы 10 дБ необходимое количество плат должно составлять не менее 6-7. Каждая из этих плат работает как в режиме малого сигнала, так и в режиме большого сигнала и должна удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к усилителю-ограничителю. Поэтому перед настройкой усилителя-ограничителя производится настройка плат усилителя по ограничительной и частотной характеристикам.

Типичные значения выходной мощности в режиме ограничения плат усилителя в диапазонах частот $2...4,5$ и $4...8$ ГГц составляют $18...20$ дБ·мВт, а разброс уровня мощности в каждом диапазоне не превышает $\pm 0,8$ дБ. Кроме того, уровень 2-й гармоники в каждом диапазоне не превышает -20 дБ.

На рис.6 приведены экспериментальные характеристики обычной платы усилителя и платы усилителя-ограничителя на частоте 2 ГГц.

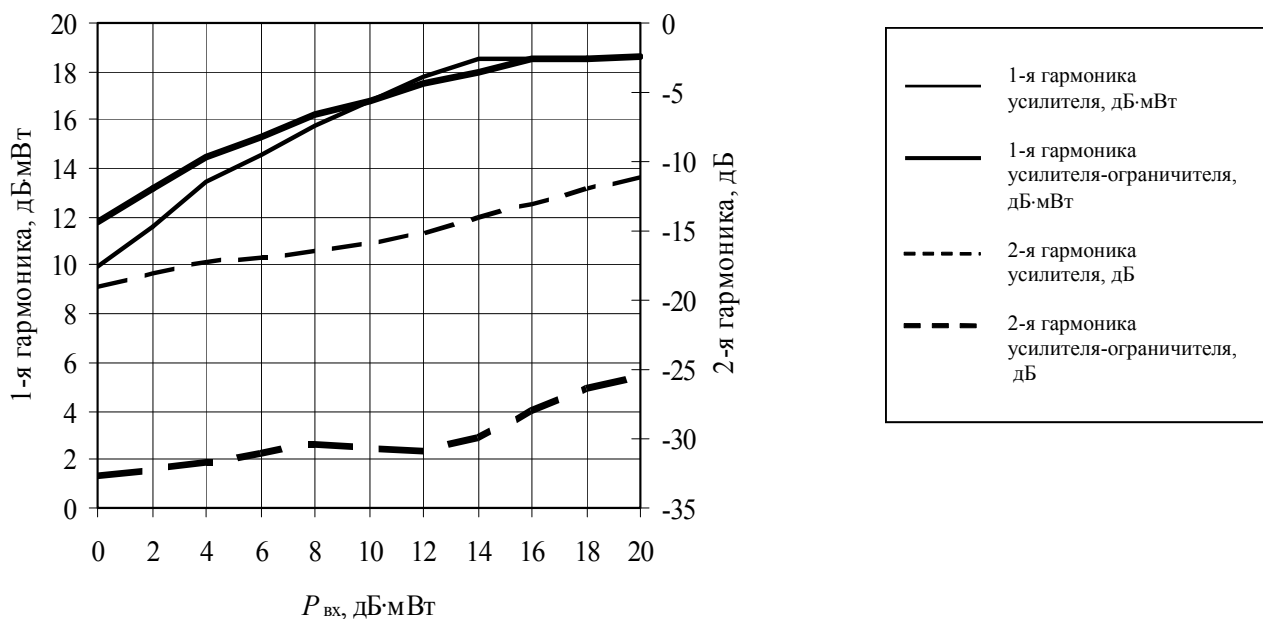


Рис. 6. Амплитудные характеристики платы усилителя и усилителя-ограничителя.
Отношения уровней 1-х и 2-х гармоник плат на частоте 2 ГГц

Как видно из рисунка, отношение уровня 2-й гармоники к уровню 1-й гармоники в плате усилителя-ограничителя составляет не более -25 дБ, а в обычной плате усилителя это отношение составляет не более -10 дБ. Уровень мощности в режиме ограничения равен $18...18,5$ дБ·мВт.

Таким образом, возможно построение усилителя-ограничителя с уровнем гармонических составляющих не более -20 дБ, используя в качестве усилительно-ограничительной ячейки

описанную выше плату. Наличие на выходе платы П-образного аттенюатора позволяет регулировать номинальную выходную мощность всего усилителя-ограничителя в пределах 10...18 дБ·Вт.

Из анализа амплитудно-частотных характеристик усилителя-ограничителя в диапазоне частот 4...8 ГГц (рис. 7) следует, что уровень ограничения выходной мощности обеспечивается с точностью ± 1 дБ в указанном диапазоне частот и в интервале входных мощностей от -75 до -10 дБ·Вт.

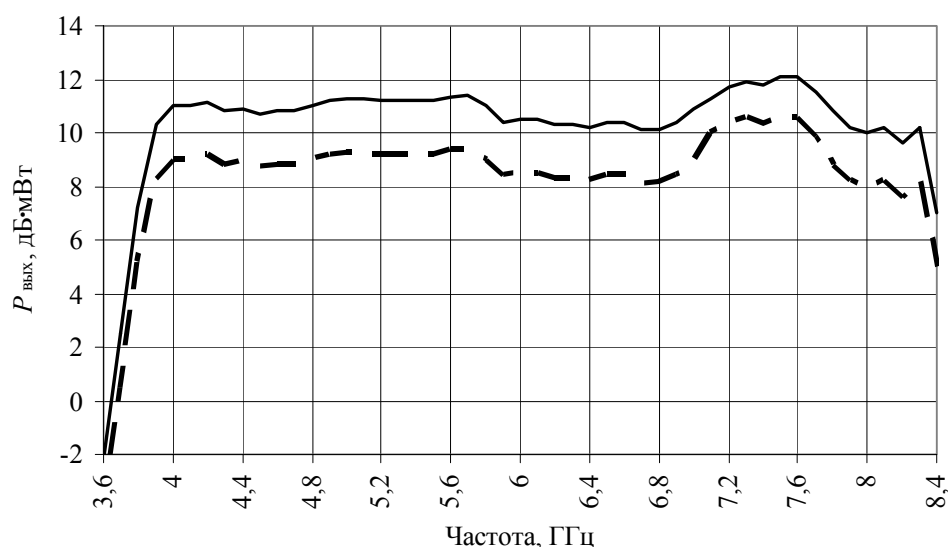


Рис. 7. Амплитудно-частотная характеристика усилителя-ограничителя при уровне входной мощности -10 дБ·Вт (сплошная) и -75 дБ·Вт (пунктир)

Аналогичные амплитудно-частотные характеристики имеет усилитель-ограничитель, работающий в диапазоне 2...4,5 ГГц.

Коэффициент шума усилителя-ограничителя в диапазоне частот 2...4,5 ГГц составляет не более 6 дБ, а в диапазоне частот 4...8 ГГц — не более 8 дБ.

5. ВЫВОДЫ

1. Предложен способ реализации усилителя-ограничителя с большим динамическим диапазоном входных сигналов и уровнем гармоник выходного сигнала не более -20 дБ в полосе рабочих частот не менее октавы.

2. Проведены расчет и оптимизация ограничителя на встречно-параллельных смесительных диодах в диапазонах частот 2...4,5 и 4...8 ГГц.

3. Разработаны усилители-ограничители в диапазонах частот 2...4,5 и 4...8 ГГц с динамическим диапазоном входных сигналов от -75 до -10 дБ·Вт, с уровнем ограничения выходной мощности (10 ± 1) дБ·Вт и уровнем подавления 2-й гармоники не менее 20 дБ.

Статья поступила 28 января 2008 г.

МЕДИЦИНСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

УДК 538.56

РОЛЬ КЛЕТОЧНЫХ МЕМБРАННЫХ СИСТЕМ В РЕЦЕПЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ КВЧ-ДИАПАЗОНА БИОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

К. Д. Казаринов

ФИРЭ РАН, г. Фрязино

Представлены результаты биофизических исследований, выполненных в нашей стране и за рубежом в течение последних 25 лет, по изучению воздействия электромагнитного излучения КВЧ-диапазона на модельные и биологические клеточные мембранные системы. Показано, что клеточная мембранная система является одним из наиболее перспективных объектов исследования механизмов биологического действия КВЧ-излучения.

The results of biophysical research carried out in this country and abroad during the last 25 years concerning the effect of electromagnetic radiation of ENF-band model and biological cellular membrane systems are presented. It is shown that a cellular membrane system is one of the most perspective objects of mechanisms research of ENF-radiation biological effect.

В опубликованной недавно работе [1] были представлены результаты исследований по изучению механизмов биологического действия электромагнитных полей (ЭМП) в широком диапазоне частот (от постоянных до видимого света, в том числе и КВЧ-излучения) и показана ключевая роль клеточных мембран как первичных звеньев чувствительности биологических объектов к ЭМП. Однако размер публикации не позволил показать достижения других авторов в этой области электромагнитобиологии, которые, конечно же, достойны самого пристального изучения и являются важными этапами в исследовании биологического действия КВЧ-излучения, определившими основные направления изучения этого вопроса на длительную перспективу. Среди этих исследований следует в первую очередь назвать работы, выполненные под руководством академика Девяткова Н.Д. в НИИ «Исток», где впервые были обнаружены биологические эффекты КВЧ-излучения [2, 3].

Успехи мембранологии последних десятилетий стимулировали интенсивное изучение действия физико-химических факторов на мембранную систему клетки. В результате этих исследований было показано, что именно мембранная система определяет в основном реакцию живой клетки на внешнее воздействие: ионизирующую радиацию, ультрафиолетовый и видимый свет, ИК-излучение, радиочастотное излучение, ультразвуковые и звуковые колебания [4-9].

Универсальное значение в функционировании клеток различного типа (зрительных, обонятельных, нервных и т.д.) мембраны приобретают благодаря способности встраивать специали-

зиро­ван­ные бел­ки-ре­цеп­то­ры в обо­лоч­ку кле­тки, ор­га­ни­зо­вы­вать вод­ное про­стран­ство внут­ри и сна­ру­жи кле­тки, а так­же ре­гу­ли­ро­вать энер­ге­ти­че­ские и би­о­хи­ми­че­ские про­цес­сы в кле­тке пу­тем из­ме­не­ния диф­фу­зи­он­ных огра­ни­че­ний для ио­нов и дру­гих кле­точ­ных суб­стратов [10-12].

Примитивная модель биологической мембраны представлена на рис. 1, на котором изображен липидный бислой с погруженными в него трансмембранными белками (1,4) и плавающими на поверхности периферическими белками (2,3,5). Вблизи трансмембранных «проникающих» белков липидные молекулы могут переплетаться с белками по принципу липопротеинового ковра, на большем удалении липиды образуют бимолекулярный слой. По оценкам некоторых авторов [13], расстояние на поверхности мембраны между двумя проникающими белковыми глобулами составляет примерно 300 липидных молекул.

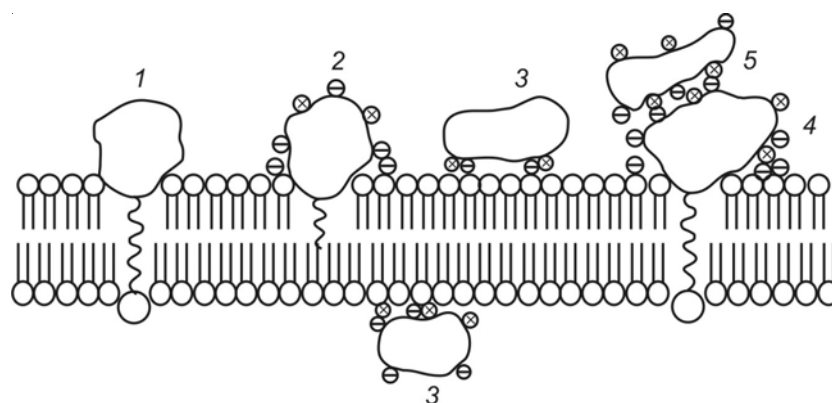


Рис. 1. Схема модели фосфолипидной клеточной мембраны с учетом различных типов локализации белков:

1, 4 – трансмембранные белки; 2 – периферический интегральный белок;
3, 5 – периферические белки

Ряд авторов обращают внимание на то, что изучение мембранной активности широкого диапазона длин волн ЭМП оправдано еще и потому, что природа процессов, протекающих в клетках и субклеточных органеллах при участии мембран, – электромагнитная. Процессы ионного транспорта через мембрану, образования мембранного потенциала, транспорта электронов в дыхательной цепи митохондрий, взаимодействия рецепторов со специфическими лигандами и ряд других по своей природе – электромагнитные.

Важность свойств воды как среды для образования и функционирования биологических структур ни у кого не вызывает сомнений. Давно установлена определяющая роль воды в поддержании нормальной структуры биологических мембран [14, 15]. Известно, что свободные и слабосвязанные молекулы воды ответственны за сильное поглощение КВЧ-излучения биологическими объектами. Поэтому естественно предположить, что первичный механизм биологического действия КВЧ опосредован водой. Еще в 70-е годы обсуждалась возможная роль воды в передаче воздействия КВЧ-излучения на клетки [16]. И в последние годы продолжают попытки определить роль воды как первичной мишени КВЧ-излучения в клетках млекопитающих [17-19].

Учитывая это, а также функциональную нагрузку мембран в живых клетках, с самого начала исследований биологических эффектов КВЧ-излучения многие авторы высказывали предпо-

ложение о том, что мембранные системы окажутся чувствительными к КВЧ-облучению низкой интенсивности [16, 20, 21].

К настоящему времени опубликовано достаточное количество работ по изучению чувствительности мембранных систем к действию микроволнового излучения [22-29].

В одном из первых сообщений были представлены данные о снижении величины мембранного потенциала нервных клеток изолированных ганглиев моллюска *Planorbis corneus*. Величина эффекта зависит от количества поглощенной энергии КВЧ-излучения. Явление деполяризации мембраны под действием излучения связывалось авторами этой работы с изменением мембранной проницаемости для ионов, ответственных за генерацию мембранного потенциала [30].

К проявлению эффектов мм-волн на мембранном уровне следует отнести и изменение адгезивных свойств клеток после облучения [31].

В работе [32] показано, что показатели стабильности глобулярных и мембранных белков, мембранных структур являются линейными функциями объемной диэлектрической проницаемости среды.

Важный результат получен в работе [33], где была установлена корреляция изменения активности дегидрогеназ с изменением скорости роста бактерий под действием КВЧ-излучения. На основании полученных экспериментальных результатов сделан вывод, что КВЧ-излучение является причиной изменения структурной организации мембран, состояние липидного состава которых определяет синтез и функционирование адениловых нуклеотидов и активность оксидоредуктаз. К выводу об изменении конформации молекул мембранных белков под действием КВЧ-облучения низкой интенсивности приходят авторы экспериментальной работы [34].

Большая часть работ, посвященных изучению действия КВЧ-излучения на мембранные системы, относится к исследованию проницаемости мембран эритроцитов [35]. В публикации [36] сообщалось об утечке гемоглобина из эритроцитов крови человека при температуре 30 °С и интенсивности облучения 0,1...5 мВт/см² на частоте 51,7 ГГц. При тех же условиях наблюдалось изменение проводимости мембран эритроцитов для ионов K⁺. Величина эффекта увеличивалась с повышением интенсивности КВЧ-облучения и длительности воздействия. Повышение температуры контрольного образца эритроцитов до 35 °С само по себе не изменяло количества выходящего из клеток гемоглобина и не влияло на проницаемость эритроцитов для ионов K⁺.

Изменение проницаемости мембран эритроцитов для гемоглобина и ионов K⁺ после КВЧ-облучения наблюдалось также в работе [37]. Увеличение содержания гемоглобина в суспензии после КВЧ-облучения автор объяснял частичным гемолизом, который вызван, по-видимому, разрушением в эритроцитарной суспензии клеток с нарушенной барьерной функцией мембран. У оставшихся в осадке неразрушенных клеток обнаруживалось уменьшение проницаемости мембран для ионов K⁺. При изменении длины волны облучения с шагом 0,01 мм в диапазонах 6,4...6,55 и 7,3...7,4 мм изменения эффекта уменьшения калиевой проницаемости не наблюдалось.

В работе [3] показано, что излучение способно снизить ионную проницаемость мембран эритроцитов, увеличенную в результате электрического пробоя диффузионным потенциалом или же под действием видеоимпульсов высокого электрического напряжения. Предполагается, что КВЧ-излучение низкой интенсивности способно индуцировать структурные перестройки

в мембранах, что сопровождается быстрым закрытием (затеканием) пробойных каналов эритроцитарных мембран и устранением ионных утечек. Это подтверждается экспериментальными данными, полученными при изучении температурной зависимости проницаемости мембран эритроцитов в условиях облучения см-волнами [38].

Отмечались изменения в размере и форме эритроцитов при КВЧ-облучении. Увеличение сферичности эритроцитов свидетельствовало о снижении их осмотической резистентности, которая для облученных эритроцитов, по данным работы [16], оказалась на 20% ниже контрольной.

О влиянии КВЧ-облучения на состояние поверхностных мембран клеток можно судить по результатам исследований электрофоретической подвижности клеток RH и He_p-2 при облучении на разных длинах волн в диапазоне 8,0...5,5 мм [39]. Во всех точках указанного диапазона изменения электрофоретической подвижности имели однонаправленный характер – снижение скорости движения в электрическом поле. Наблюдаемые явления в поведении клеток в постоянном электрическом поле после КВЧ-облучения принято связывать с изменениями величины поверхностного заряда клетки, которые могут определяться конформационными перестройками поверхностных молекулярных комплексов биологических мембран.

Участие мембранных структур при изучении влияния КВЧ-облучения на агрегационное взаимодействие тимоцитов с эритроцитами было отмечено в работе [40]. Электромагнитное излучение (ЭМИ) КВЧ (46,12 и 46,19 ГГц, 0,3...1 мВт/см²) усиливало способность изолированных тимоцитов кролика к агрегационному взаимодействию с гомолитичными эритроцитами. В работе указывается на возможное незначительное изменение в структуре тимоцитов, приводящее к запуску синтеза новых мембранных рецепторов в этих клетках. В результате количество рецепторов на поверхности клеточной мембраны становится достаточным для того, чтобы клетка вступила в агрегацию.

При исследовании влияния ЭМИ КВЧ (42, 54, 66...78 ГГц) на чувствительность культуры стафилококка к антибиотикам было обнаружено изменение чувствительности бактерий к пяти видам антибиотиков в основном с мембранотропными свойствами. Данные эффекты проявляли себя через несколько минут после начала облучения и мало изменялись при дальнейшей экспозиции [41]. Авторы предполагают, что КВЧ-облучение влияет на взаимодействие грамицидина S и аналогичных антибиотиков с мембранами бактерий и тем самым моделирует их действие на клетки.

При КВЧ-облучении (41,95 ГГц) мощностью 150 мкВт/см² перитонеальных нейтрофилов мышей было обнаружено максимальное ингибирование синергической реакции кальциевого ионофора A23187 (20 мкмоль) и форболового эфира [42]. В бескальциевой среде во всем диапазоне концентраций ионофора эффект КВЧ-излучения не проявлялся. На основании этого факта предполагается, что действие КВЧ определяется в данном случае входом внеклеточного Ca^{2+} через природные мембранные кальциевые каналы внутрь клеток и активацией протеинкиназы C .

Аналогичный результат был получен на этом же объекте при модулированном КВЧ-излучении сигналом 0,1...50 Гц. Независимо от знака эффекта действие КВЧ-облучения проявлялось только при наличии потока ионов Ca^{2+} через мембраны клеток [43, 44].

О значительном влиянии ионов Ca^{2+} на изменение проницаемости мембран в условиях СВЧ-облучения свидетельствуют также результаты работы [45], в которой показано увеличение калиевой проницаемости мембран с ростом концентрации внутриклеточного кальция в эритро-

цитах, нервных клетках морского моллюска *Aplisia* и у виноградной улитки. Было отмечено, что СВЧ-облучение вызывает высвобождение ионов Ca^{2+} , связанных с макромолекулами поверхностного слоя мембран [46]. Автор этой работы считает, что явления освобождения и связывания кальция полианионами поверхностного слоя могут рассматриваться в качестве кооперативного процесса с триггерным запуском в каком-либо участке, вызванного изменением конформаций макромолекулы под действием электромагнитного поля. О возможности регулирования потоков ионов Ca^{2+} через биологические мембраны с помощью микроволнового излучения указывалось также в работах [47, 48].

В работе [49] сделана попытка объяснить некоторые экспериментально наблюдаемые особенности влияния КВЧ-излучения на биологические объекты. В качестве фактора, влияющего на обеспечение энергией КВЧ-излучения биологических процессов, рассматриваются колебания заряженных клеточных мембран. Согласно утверждению автора, эти колебания могут поддерживаться за счет энергии метаболизма, в результате чего клетка приобретает свойства электромеханического генератора. Рассматривается взаимодействие клеточных генераторов друг с другом и с внешним КВЧ-излучением. Кроме того, автор предлагает оптимальные электродинамические условия для экспериментальной регистрации КВЧ-сигналов, генерируемых мембранами живых клеток.

Тот же автор в работе [50] указывает на возможность резонансной природы взаимодействия ЭМИ любого диапазона с макромолекулами или же субклеточными системами, например клеточными мембранами. Предлагается к проблеме взаимодействия ЭМИ с биологическими объектами подойти не с «энергетической» точки зрения, а воспринимать биологический объект как нелинейную макросистему, обладающую различными типами поведения в зависимости от величины внутренних параметров. Под действием слабого периодического воздействия поведение такой системы может существенно трансформироваться, в особенности, если эта система находится вблизи бифуркационной границы своих параметров. Такие процессы, по мнению авторов данной работы, могут приводить к переходу периферических белков из связанного на мембране состояния в свободное состояние в водной фазе [14], например, вследствие изменения pH.

Однако важным последствием воздействия ЭМИ может оказаться не только изменение концентрации ионов в примембранном слое, но и инициация автоколебательного режима или его прекращение. Значение ритмических процессов в регуляции метаболических процессов хорошо известно [51]. Часто дисфункции организма связаны с нарушением того или иного биологического ритма, и ЭМИ низкой интенсивности, стимулируя возникновение автоколебаний, способно скорректировать это нарушение [50].

Авторы работы [52] обращают внимание на частотно-зависимый характер биологических эффектов КВЧ-излучения. Предполагается, что природа таких частотных зависимостей может быть объяснена акустоэлектрическими резонансами в биологических мембранах [53].

Для объяснения мембранных механизмов биологического действия КВЧ-излучения широко используются также теоретические идеи Фрелиха Г. и Давыдова А.С. [54-56]. Однако экспериментальная сторона этого направления требует еще дополнительных усилий исследователей.

В работе [57] для объяснения биологических эффектов КВЧ-излучения используется явление стохастического резонанса [58]. Явление основано на возможности захвата стохастичес-

кой системой внешнего периодического сигнала, тогда появляется возможность управлять параметрами биологической системы, находящейся в состоянии стохастической нелинейной динамики. При этом роль стохастической системы (источника шумовых колебаний), необходимой для реализации стохастического резонанса, может выполнять мембранная клеточная система с учетом влияния на нее водной среды [57, 59].

Результаты экспериментальных работ, вообще говоря, показывают высокую чувствительность мембранных транспортных процессов к СВЧ-излучению низкой интенсивности [37, 60]. Следует, правда, заметить, что имеется теоретическое заключение ряда авторов [61, 62] о невозможности влияния этого излучения на перенос ионов через сильно заряженную мембрану. Однако эти авторы не учитывают многостадийный характер переноса ионов через мембранную систему [10].

Так, в работе [63] показана возможная роль диффузии ионов через примембранные неперемешиваемые водные слои как лимитирующей стадии мембранного транспорта. Действие КВЧ-излучения на эту стадию переноса ионов и других важных биологических веществ в модельных мембранных системах исследовано в работах [1, 64].

Обнаружено, что КВЧ-излучение способно стимулировать ионную проницаемость бимолекулярных липидных мембран (БЛМ), если узким местом процесса переноса становится стадия проводимости в примембранных неперемешиваемых слоях. Эффект КВЧ-облучения проявлялся только в случае модифицированных БЛМ (рис. 2), у которых ионная проводимость была увеличена введением селективных индукторов ионного транспорта (валиномицина или 2,4-динитрофенола). Включение КВЧ-облучения обратимо снижало сопротивление БЛМ, и этот эффект возрастал при увеличении разности потенциалов, приложенной к мембране [1].

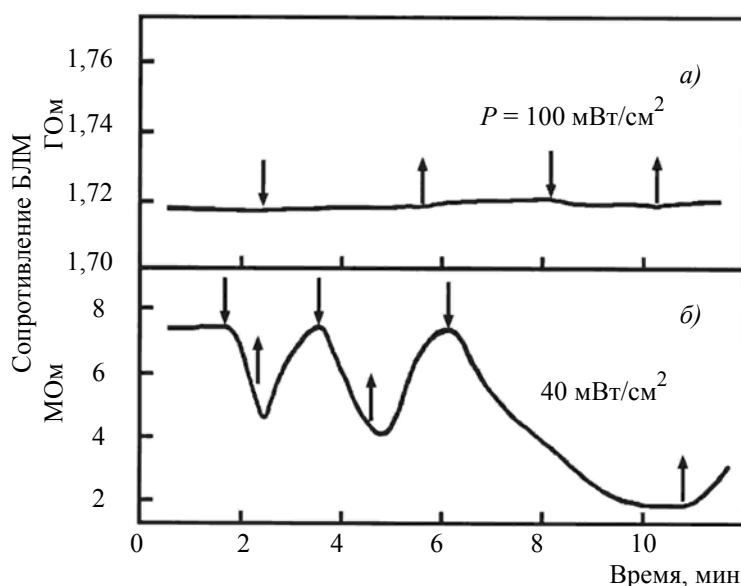


Рис. 2. Изменение электрического сопротивления БЛМ при КВЧ-облучении (длина волны – 8,5 мм):
 а – немодифицированная БЛМ; б – БЛМ, модифицированная валиномицином (10^{-6} моль);
 стрелками показано включение (вниз) и выключение (вверх) КВЧ-излучения

Аналогичное увеличение пассивной проводимости для ионов наблюдалось в экспериментах с препаратом кожи лягушки - более сложной системой для изучения мембранного транспорта, предназначенной для перекачивания ионов Na^+ с внешней стороны кожи на внутреннюю [64]. Ионы Na^+ , пассивно диффундируя в клетки с внешней стороны по электрохимическому градиенту, затем перекачиваются к внутренней стороне кожи с помощью специального фермента Na,K-ATP-азы . Процесс переноса сопровождается генерацией разности потенциалов между изолированными растворами с двух сторон кожи, которая и является показателем скорости процесса переноса.

Включение КВЧ-облучения приводило к ускорению переноса Na^+ , о чем можно было судить по увеличению разности потенциалов на коже (рис. 3). При увеличении интенсивности излучения эффект возрастал. Таким образом, можно предположить, что и в данном случае ускорение переноса ионов Na^+ через кожу лягушки связано с увеличением пассивной диффузии этих ионов под действием мм-волн.

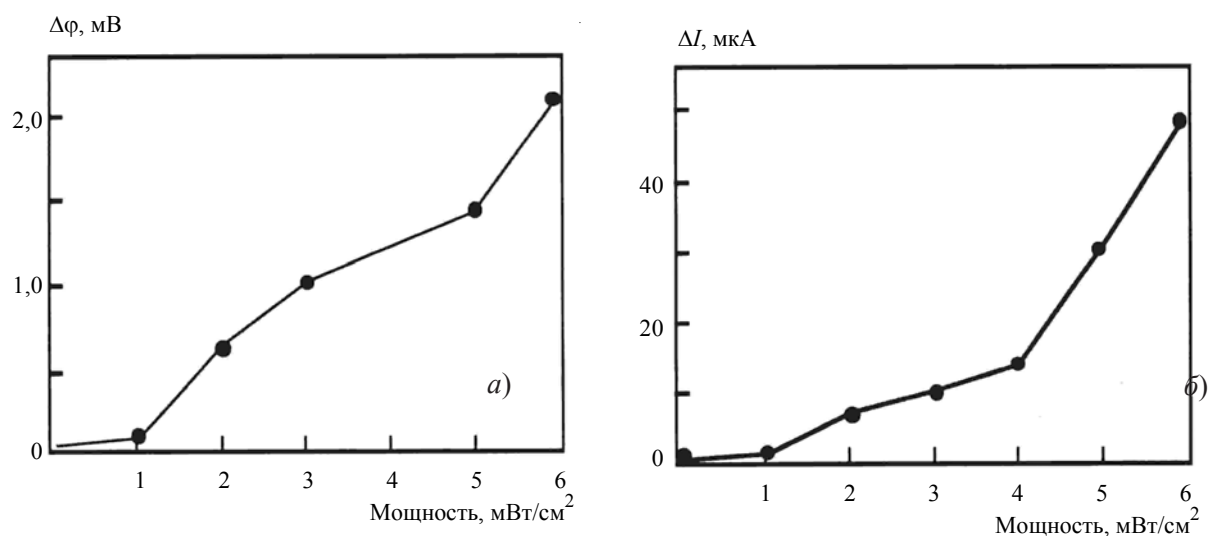


Рис. 3. Типичная зависимость величины приращения потенциала кожи лягушки (а) и полярографического тока (б) от интенсивности облучения.
Длина волны облучения – 8,5 мм

Сравнение дозовых зависимостей эффектов КВЧ-излучения на простой физико-химической системе (полярографический электрод в водной среде) и сложной биологической системе транспорта ионов натрия в коже лягушки (рис. 3) указывает на один и тот же механизм действия излучения – ускорение переноса ионов в пограничных неперемешиваемых водных слоях [1].

Исследовалось также действие КВЧ-излучения на УФ-фотолиз дрожжевых клеток [60]. Было обнаружено, что мм-излучение низкой интенсивности увеличивает выход из клеток в среду продуктов нуклеопротеидной природы с максимумом поглощения на длине волны 260 нм. Дозовая зависимость показывает (рис. 4) проявление эффекта при интенсивности облучения порядка 1 мВт/см² и отсутствие зависимости от мощности излучения при интенсивности 10 мВт/см².

Возможно, в данном случае ускорение лизиса при фотохимическом процессе связано с ускорением процесса переноса продуктов реакции в водной фазе под действием КВЧ-излучения. В пользу этого предположения свидетельствуют данные о таком же увеличении лизиса

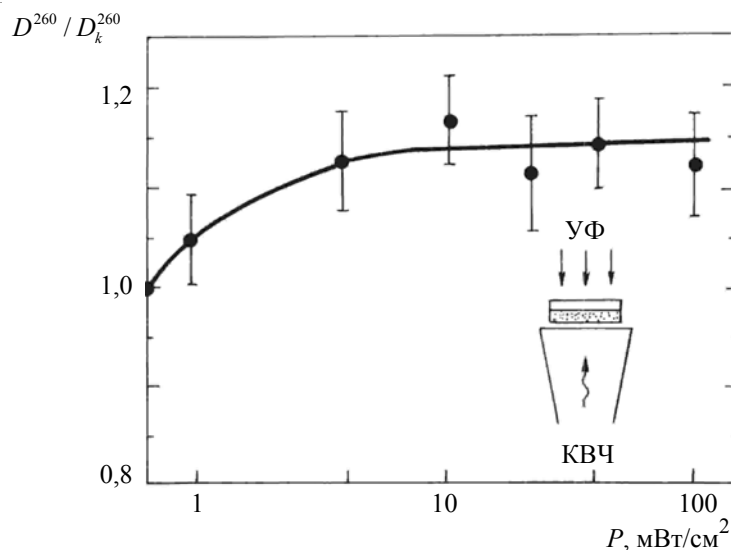


Рис. 4. Зависимость степени фотолиза клеток дрожжей от интенсивности КВЧ-облучения. Оптическая плотность надосадочной жидкости для препарата, который не облучался КВЧ, принята за 1. Длина волны облучения – 8,5 мм

дрожжевых клеток при механическом перемешивании суспензии, а также имеющиеся литературные сведения о важности гидродинамических эффектов при фотолизе везикулярных структур [65].

С учетом вышесказанного можно попытаться объяснить эффекты КВЧ-излучения в экспериментах с участием химических реакций в мембранах, учитывая возможность доставки реагентов к месту реакции. Например, скорость накопления продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) в суспензии липосом [66]. В результате окисления фосфолипидов увеличивается проницаемость мембран для ионов и др. важных биологических веществ (один из механизмов патологии клетки).

Независимо от способа инициирования окисления липидов модельных мембран и метода физико-химического контроля эффекта мм-излучение приводило к ускорению процессов ПОЛ и дозовая зависимость имела пороговый характер от значений менее 1 мВт/см² [66]. Предполагается, что данный эффект связан с увеличением скорости доставки кислорода к месту реакции ПОЛ. Гидродинамические эффекты КВЧ-излучения подробно рассмотрены в экспериментальной работе [67].

Если биологические эффекты мм-излучения рассматривать в аспекте биологической активности всего радио- и СВЧ-диапазона, то следует отметить, что многие исследователи указывают на тепловые эффекты слабой интенсивности [68, 7]. Однако часто эффекты ЭМИ не удается объяснить регистрируемым интегральным нагревом. Свидетельством тому – появившийся термин «температурный эквивалент» наблюдаемого СВЧ-эффекта.

Особую важность оценка теплового эквивалента приобретает в том случае, когда объект очень чувствителен к изменению температуры. Иногда это может происходить из-за того, что температура окружающей среды, при которой проводится облучение биологического объекта, близка к температуре фазового перехода некоторых его молекулярных образований. Тогда повышение температуры в результате КВЧ-облучения даже на 0,2 °С может привести к новому

фазовому состоянию биологической структуры (например, белково-липидного комплекса биологической мембраны) и отклик системы обнаруживает новое качество с явно выраженным пороговым эффектом.

Для выяснения подобной ситуации была сделана попытка найти модель, обладающую температурным порогом структурных изменений [1]. В качестве такой модели использовали мембраны из насыщенных фосфолипидов: димиристоиллецитина (ДМЛ) и дипальмитоиллецитина (ДПЛ) – с температурами фазовых переходов (гель – жидкий кристалл) соответственно в области 25 и 42 °С (рис. 5). Как видно из рисунка, гистерезис, обнаруживаемый по светорассеянию при переходе гель – жидкий кристалл и обратно, оказывается при КВЧ-нагреве (показан пунктиром) примерно в два раза более узким, чем при обычном ИК-нагреве (сплошная линия). Полученный в работе результат легко объяснить, если предположить, что теплообмен между мембранами липосом и водой при плавлении происходит достаточно медленно.

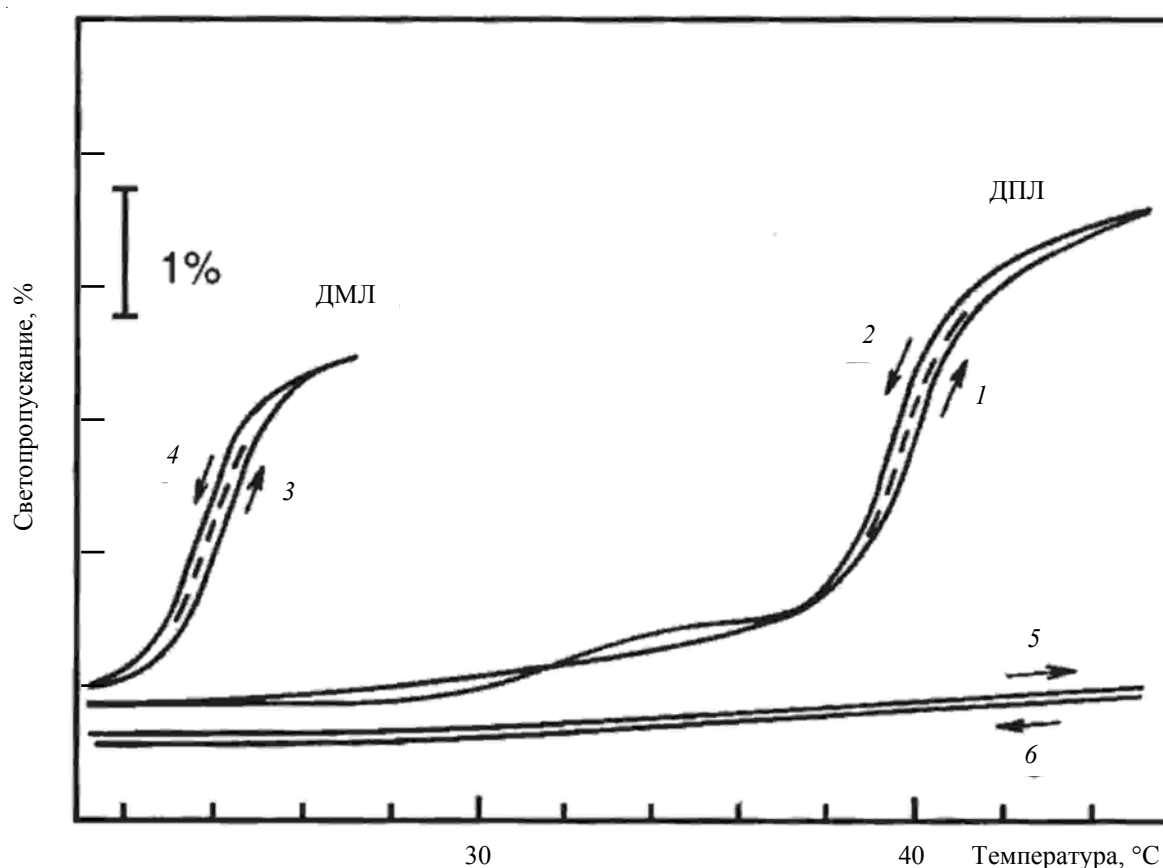


Рис. 5. Фазовый переход в мембранах липосом из ДПЛ (1,2) и ДМЛ (3,4) при КВЧ- и ИК-нагреве.

Кривые 5 и 6 относятся к липосомам из яичного лецитина, которые не претерпевают в данном интервале температур фазовых структурных перестроек (интенсивность облучения – 3 Вт/см²; длина волны – 8,5 мм)

В случае ИК-нагрева энергия поглощается в основном стенкой кюветы, а липосомы нагреваются в результате теплопередачи из внешней водной среды. Средняя температура липосом должна при этом отставать от температуры в кювете.

При облучении мм-волнами липосомы, попадая в область поглощения КВЧ, нагреваются изнутри так же, как и среда в этой области, и в этом случае передача тепла для плавления мембран идет эффективнее.

Аналогичные результаты были получены в м- и дм-диапазоне СВЧ-излучения на липосомах из димиристоиллецитина [7].

Указывая на неоднородность теплофизических свойств ассоциированных жидкостей и биологических структур, авторы работы [69] предвидят возможность локальных микрофазовых переходов (в том числе и в биологических мембранах) под действием ЭМИ, которые при усредненном контроле температуры предполагаются нетепловыми.

На основании результатов, полученных в экспериментах с нативными и искусственными моделями биологических мембран [1], можно предложить схему (рис. 6) одного из предполагаемых механизмов слабого теплового действия КВЧ-излучения на биологические объекты в водных средах в условиях лабораторного эксперимента *in vitro*, который включает в себя фрагменты экспериментально обоснованных гипотез, а также предположений различных авторов.



Рис. 6. Механизм действия мм-волн в условиях биологического эксперимента при слабом нагреве опытного образца излучением

Подводя предварительный итог изложенных в настоящей работе данных, есть все основания предполагать, что биологические мембраны являются одним из своеобразных «детекторов» КВЧ-излучения в живой клетке. При КВЧ-облучении наблюдаются как функциональные, так и структурные изменения мембранных биологических систем или их моделей. Как указано в работе [70], мембраны могут играть главную роль в эффективном восприятии и дальнейшем проявлении действия ЭМИ КВЧ в функциональных изменениях на уровне всей клетки. Однако вопрос о конкретных физико-химических механизмах рецепции КВЧ-излучения мембранными системами и последующей передаче сигнала к внутриклеточным структурам требует дальнейших усилий исследователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисенко Г.Г., Полников И.Г., Казаринов К.Д. Биологические мембраны – первичные мишени рецепции электромагнитных полей в медико-биологическом эксперименте // *Электронная техника. Сер.1, СВЧ-техника.* – 2007. – Вып. 4 (492). – С.25-37.
2. Голант М.Б., Реброва Т.Б. Экспериментальная оценка мощности сверхслабых когерентных сигналов, генерируемых живыми клетками // *Электронная техника. Сер. 1, Электроника СВЧ.* – 1988. – Вып. 4 (408). – С. 50-54.
3. Девятков Н.Д., Бецкий О.В., Ильина С.А., Путвинский А.В. // *Сб. науч. тр. / Под ред. Н.Д. Девяткова.* – М.: АН СССР, ИРЭ, 1983. – С.78-96.
4. Владимиров Ю.А., Оленев В.И., Потапенко А.Я. // *Итоги науки и техники. Сер. Биофизика.* – 1975. – Т. 5. – С. 56-117.
5. Зубкова С.М., Лапрун И.Б. Действие электромагнитного излучения дециметрового диапазона длин волн на клеточные мембраны миокарда // *Радиобиология.* – 1984. – Т. 24, № 32. – С. 276-279.
6. Исмаилов Э.Ш. Биофизическое действие СВЧ-излучений. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 144 с.
7. Ким Ю.А., Фоменко Б.С., Акоев И.Г. Влияние электромагнитных излучений радиочастотного диапазона (340 и 800 МГц) на липосомы из димиристоиллецитина // *Биофизика.* – 1988. – Т. 23, вып. 1. – С. 97-100.
8. Исследование действия УФ-света на биологические мембраны / А.Я. Потапенко, Д.И. Рошупкин, Е.А. Коган, Ю.А. Владимиров // *ДАН СССР.* – 1972. – Т. 202, № 4. – С. 882-885.
9. Сирота А.И. Исследование влияния УВЧ полей на мембраны биологических тканей // *Физика и технические приложения волновых процессов: V-я Международная научно-техническая конференция, Самара, 2006.*
10. Ризниченко Г.Ю., Плюснина Т.Ю. Нелинейная организация субклеточных систем – условие отклика на слабые электромагнитные воздействия // *Биофизика.* – 1996. – Т. 41, вып. 2. – С. 428-432.
11. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Маркарова Е.Н. Влияние КВЧ излучения на транспортные свойства мембран у фотосинтезирующих организмов // *Радиотехника.* – 1997. – № 4.
12. Щеголева Т.Ю., Бахова Л.К. Гидратация – параметр, отвечающий на структурно-функциональные изменения мембран // *Биофизика.* – 1986. – Т. 31. – С. 358-359.
13. Накагаки М. Физическая химия мембран. – М.: Мир, 1991. – 255 с.
14. Аксенов С.И. Вода и ее роль в регуляции биологических процессов. – М.: Наука, 1990. – 117 с.
15. О некоторых следствиях механохимической неустойчивости жидкой воды / И.Н. Диденкулов, Г.А. Домрачев и др. // *Электромагнитные поля и здоровье человека. Фундаментальные и прикладные исследования.* – М.-СПб., 2002. – С. 224.
16. Ильина С.А., Бакаушина Г.Ф., Гайдук В.И. и др. // *Биофизика.* – 1979. – Т. 24, № 3. – С. 513-518.
17. Кожокару А.Ф., Кожокару Н.Л., Бурковецкая Ж.И. Механизмы прямого и опосредованного действия через воду низкоинтенсивного радиочастотного ЭМИ на мембранные системы и биологические объекты // *Биомедицинские технологии и радиоэлектроника.* – 2006. – № 8-9. – С. 58-68.

18. Влияние состояния сетки водородных связей приповерхностной воды на биоэффекты ЭМИ КВЧ / П.Е. Кузнецов, С.М. Рогачева, А.Ю. Сомов и др. // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2006. – № 12. – С. 16-20.
19. Preliminary microwave irradiation of water solutions changes their channel-modifying activity / E.E. Fesenko, V.A. Geletyuk, V.N. Kazachenko, N.K. Chemeris // FEBS Letters. – 1995. – Vol. 366. – P. 49-52.
20. Исмаилов Э.Ш. К вопросу о физико-химическом воздействии микроволн на биомембраны // Биофизические аспекты загрязнения биосферы. – М.: Наука, 1973. – С. 67-69.
21. Эйди Р. Электромагнитные взаимодействия на клеточных мембранах: перестройка стереотипа // Двенадцатые сеченовские чтения: сб. науч. тр. – М.: РАН, 1996. – С. 3-21.
22. Alekseev S.I., Ziskin M.C. Effects of millimeter waves on ionic currents of *Lymnaea* neurons // Bioelectromagnetics. – 1999. – Vol. 20. – Iss. 1. – P. 24-33.
23. Millimeter waves thermally alter the firing rate of the *Lymnaea* pacemaker neuron / S.I. Alekseev, M.C. Ziskin, N.V. Kochetkova, M.A. Bolshakov // Bioelectromagnetics. – 1998. – Vol. 18. – Iss. 2. – P. 89-98.
24. Arber S. A model of susceptibility associated with the membrane electric field // Physiol. Chemistry and Phys. and Med. NMR. – 1986. – Vol. 18, No 1. – P. 49-51.
25. Kazbekov E.N., Vyacheslavov L.G. Effects of microwave irradiation on some in bacteria membrane-related processes // Gen. Physiol. Biophys. – 1987. – Vol. 6.
26. Liburdy R.P. and Vanek P.F. Microwaves and the cell membrane. Temperature plasma and oxygen mediate microwave-induced membrane permeability in the erythrocyte // Radiation Research. – 1985. – Vol. 102. – P. 190-205.
27. Logani M.K., Ziskin M.C. Continuous millimeter wave radiation has no effect on lipid peroxidation in liposomes // Radiation research. – 1996. – Vol. 145.
28. Motzkin S., Birenbaum L., Rosenthal S. et al. Nation. Radio Science Meeting: Bioelectromagnetics Symposium Progr. and Abst. – 1979. – P. 460.
29. Search for frequency-specific effects of millimeter-wave radiation on isolated nerve function / A.G. Pakhomov, H.K. Prol, S.P. Mathur, Y. Akyel, C.B.G. Campbell // Bioelectromagnetics. – 1998. – Vol. 18. – Iss. 4. – P. 324-334.
30. Мирутенко В.И., Богач П.Г. Изменение мембранного потенциала нервных клеток изолированных ганглиев моллюска под влиянием СВЧ ЭМП // Физиологический журнал АН УССР. – 1975. – Т. 21, № 4. – С. 528-530.
31. Руденко А.В., Колтун Н.Д. Отклик // Фундаментальные и прикладные аспекты применения миллиметрового излучения в медицине: сб. науч. тр. – 1989. – С. 190-191.
32. Заводник И.Б., Лапишина Е.А. Влияние объемных диэлектрических свойств среды на стабильность глобулярных белков и мембран // Биофизика. – 1997. – Т. 42, вып. 5. – С. 1035-1039.
33. Изменение энергетического и фосфолипидного обмена в клетках *E coli* под действием миллиметрового диапазона СВЧ / Ю.В. Гуляев, Г.Б. Вайнер, Ю.К. Губанова и др. // Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине: тез. докл. 4-го всес. сем. – М.: АН СССР, ИРЭ, 1986 – С. 31.
34. Ченская Т.Б., Петров И.Ю. Исследование действия мм-излучения на компоненты мембран методом ИК спектроскопии // Сб. науч. тр. / Под ред. Девяткова Н.Д. – М.: АН СССР, ИРЭ, 1989. – С. 208-213.
35. Смирнов А.Ю., Севастьянова Л.А. Динамика структурных перестроек биологических мембран под действием радиоволн миллиметрового диапазона нетепловой интенсивности // Сб. науч. тр. / Под ред. Н.Д. Девяткова. – М.: АН СССР, ИРЭ, 1983. – С. 138-145.
36. Джегард Д.Л., Лордс Д.Л. Клеточные эффекты: миллиметровые волны и рамановские спектры // ТИИЭР. – 1980. – Т. 68, № 1. – С. 133-139.
37. Ильина С.А. // Сб. науч. тр. / Под ред. Н.Д. Девяткова. – М.: АН СССР, ИРЭ, 1987. – С. 149-169.
38. Cleary S.F., Garber F. and Liu L.M. Effects of X-band microwave exposure on rabbit erythrocytes // Bioelectromagnetics. – 1982. – № 3. – P. 453-466.
39. Залюбовская Н.П. Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук. – 1979. – 575 с.
40. Роцупкин Д.И., Крамаренко Г.Г., Аносов А.К. Действие электромагнитного излучения КВЧ и УФ-излучения на агрегационное взаимодействие тимокитов с эритроцитами // Биофизика. – 1996. – Т. 41, вып. 4. – С. 866-869.

41. Влияние миллиметрового излучения нетепловой интенсивности на чувствительность стафилококка к различным антибиотикам / В.Г. Булгакова, В.А. Грушина, Т.И. Орлова и др. // Биофизика. – 1996. – Т. 41, вып. 6. – С. 1289-1293.
42. Миллиметровые волны ингибируют синергический эффект кальциевого ионофора A23187 и форболового эфира в активации респираторного взрыва нейтрофилов / В.Г. Сафонова, А.Б. Ганеев, А.А. Аловская и др. // Биофизика. – 1997. – Т. 42, вып. 6. – С. 1267-1273.
43. Модулированное электромагнитное излучение крайне высоких частот низкой интенсивности активирует или ингибирует респираторный взрыв нейтрофилов в зависимости от частоты модуляции / А.Б. Ганеев, В.С. Якушина, Н.К. Чемерис, Е.Е. Фесенко // Биофизика. – 1997. – Т. 42, вып. 5. – С. 1125-1134.
44. Safronova V. G., Gabdoulkhakova A.G., Santalov B.F. Immunomodulating action of low intensity millimeter waves on primed neutrophils // Bioelectromagnetics. – 2002. – Vol. 23. – Iss. 8. – P. 599 – 606.
45. Adey W.R. // Physiolog. Rew. – 1981. – Vol. 61, No 2. – P. 435-514.
46. Adey W.R. // Ann. New York Acad. Science. – 1975. – Vol. 247. – P. 15-20.
47. V.I. Geletyuk, V.N. Kazachenko, N.K. Chemeris, E.E. Fesenko. Dual effect of microwaves on single Ca^{2+} -activated K^{+} channels in cultured kidney cells Vero // FEBS Letters. – 1995. – Vol. 359. – P. 85-88.
48. A cooperative model for Ca^{2+} efflux windowing from cell membranes exposed to electromagnetic radiation / C.J. Thompson, Y.S. Yang, V. Anderson et al. // Bioelectromagnetics. – 2000. – Vol. 21, No 6. – P. 455-464.
49. Голант М.Б. О проблеме резонансного действия когерентных ЭМ-излучений мм-диапазона на живые организмы // Биофизика. – 1989. – Т. 34, № 2. – С. 339-348.
50. Голант М.Б. Резонансное действие некогерентных ЭМ-излучений мм-диапазона волн на живые организмы // Биофизика. – 1989. – Т. 34, № 6. – С. 1004-1014.
51. Зацепина Г.Н. Свойства и структура воды. – М.: МГУ, 1974. – 168 с.
52. Миллиметровые волны и фотосинтезирующие организмы / Под ред. Ю.В. Гуляева, А.Х. Тембиева. – М.: Радиотехника, 2003. – 175 с.
53. Бецкий О.В., Лебедева Н.Н. Современные представления о механизмах воздействия низкоинтенсивных миллиметровых волн на биологические объекты // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2001. – № 3(23). – С. 5-18.
54. Blinowska K. J., Lech W., Wittlin A. Cell membrane as a possible site of Frohlich's coherent oscillations // Phys. Lett. A. – 1985. – Vol. 109. – P. 124.
55. Frolich H. Collective behavior of nonlinearly coupled oscillating fields // Collective Phenomena. – 1973. – Vol. 1. – P. 101-109.
56. Relationship between Frohlich and Davydov models of biological order / J.A. Tuszynski, R. Paul, R. Chatterjee, S.R. Sreenixasan // Physical Review. – 1984. – Vol. 30, No 5. – P. 2666-2675.
57. Ганеев А.Б., Чемерис Н.К. Механизмы биологического действия ЭМИ КВЧ на клеточном уровне // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2007. – № 2-4. – С. 44-62.
58. Стохастический резонанс как индуцированный шумом эффект увеличения степени порядка / В.С. Анищенко, А.Б. Нейман, Ф. Мосс, Л. Шиманский-Гайер // УФН. – 1999. – Т. 169, № 1. – С. 7-47.
59. Пономарев В.О., Карнаухов А.В. Диссипативный резонанс. Аналитическое решение с неподвижными границами // Биофизика. – 2002. – Т. 47, вып. 5. – С. 825-832.
60. Казаринов К.Д. Биологические эффекты КВЧ-излучения низкой интенсивности // Итоги науки и техники. Сер. Биофизика. – 1990. – Т. 27. – 102 с.
61. Шван Х.П., Фостер К.Р. // ТИИЭР. – 1980. – Т. 68, № 1. – С. 121-132.
62. Schwan H.P. Biophysics of the interaction of electromagnetic energy with cells and membranes // Biological Effects and Dosimetry of Nonionizing Radiation: Edited by Grandolfo M., Michaelson S.M. and Rindi A. N.Y. and London. Plenum Press. – 1983. – P. 213-231.
63. Kazarinov K.D., Putvinsky A.V., Malinin V.S. // Electricity and Magnetism in Biology and Medicine: Plenum Publishing Corporation. N.Y. – 1998. – P. 569-572.

64. Казаринов К.Д., Шаров В.С., Путвинский А.В., Бецкий О.В. // Биофизика. – 1984. – Т. 29, вып. 3. – С. 480-482.
65. Grossweiner L.J., Grossweiner J.B. // Journal of Photochemistry and Photobiology. B: Biology. – 1982. – Vol. 35. – P. 583-586.
66. Андреев В.Е., Полников И.Г., Казаринов К.Д. Использование в биохимическом эксперименте явления межфазной конвекции в водных растворах при поглощении КВЧ-излучения // Электронная техника. Сер. 1, СВЧ-техника. – 2007. – Вып. 2 (490). – С. 91-95.
67. Khizhnyak E.P., Ziskin M.C. Temperature oscillations in liquid media caused by continuous (nonmodulated) millimeter wavelength electromagnetic irradiation // Bioelectromagnetics. – 1996. – Vol. 17. – P. 223-229.
68. Жадан Г.Г., Ким Ю.А., Шныров В.Л. Калориметрический подход к исследованию влияния электромагнитного излучения радиочастотного диапазона на плазматическую мембрану эритроцитов человека // Доклады АН СССР. – 1983. – Т. 269. – С. 747-749.
69. Klotz I.M. Parallel change with temperature of water structure and protein behavior // Journal Phys. Chem. B. – 1999. – Vol. 103. – P. 5910-5916.
70. Ганеев А.Б. // Вестник новых медицинских технологий. – 1999. – Т. 6, № 1. – С. 15-22.

Статья поступила 7 февраля 2008 г.

=== НОВЫЕ КНИГИ ===

ГЛЕБОВ В.А., ЛУКИН А.А. **Нанокристаллические редкоземельные магнитотвердые материалы.** – М.: ФГУП ВНИИНМ, 2007.

Настоящая работа охватывает два основных направления получения магнитных наноматериалов: быстрозакаленные и металлокерамические магниты, находящие сегодня широкое применение в промышленности.

Радиоизмерительная аппаратура СВЧ и КВЧ. Узловая и элементная базы. Коллективная монография / Под ред. А.М. Кудрявцева. – М.: Радиотехника, 2006. – 208 с.: ил.

Изложены результаты разработок узлов, используемых при создании радиоизмерительной аппаратуры СВЧ- и КВЧ-диапазонов, рассмотрены общие вопросы ее создания и нормативная база; приведены теоретические основы создания и особенности конструктивного исполнения автогенераторов с электромагнитной и электрической перестройкой частоты, коаксиальных и волноводных направленных ответвителей, стробоскопических преобразователей, умножителей частоты, устройств на поверхностно-акустических волнах, термоэлектрических преобразователей и ряда других типов устройств; представлены методы измерения параметров, характеризующих работу устройств, их применение в радиоизмерительной технике и перспективы развития.

Для специалистов, занимающихся разработкой радиоизмерительной аппаратуры СВЧ- и КВЧ-диапазонов. Может быть полезна аспирантам и студентам старших курсов радиотехнических факультетов.

К 65-ЛЕТИЮ ФГУП «НПП «ИСТОК»

УДК 681.7

ПРИБОРЫ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ

Р. М. Попов

ФГУП «НПП «Исток», г. Фрязино

В ранней истории научно-производственной деятельности НИИ-160 есть несколько страниц, которые, к сожалению, остались неразгаданными до настоящего времени. Одна из них – это работа над приборами ночного видения.

In the early history of scientific and production activity of NII-160 there are some pages which have unfortunately been undiscovered up to now. One of them is the work on night vision devices.

В конце октября 1944 года войска 2-го Украинского фронта начали решительное наступление на Будапешт. В середине следующего месяца в операцию по окружению Будапештской группировки немцев подключились еще войска 3-го Украинского фронта. Наступая с юга, они вышли на рубеж озер Веленце – Балатон.

Немецкое командование рассчитывало задержать дальнейшее продвижение советских войск на оборонительном рубеже «Маргарита», созданном с целью воспрепятствовать обходному маневру наших войск по окружению Будапешта с юго-запада. Но сильно укрепленная оборона немцев была прорвана, и 26 октября окружение Будапештской группировки завершилось. Советское командование предъявило противнику ультиматум о капитуляции. Немцы отвергли предложение и вероломно убили советских парламентариев.

Для высвобождения своих окруженных войск и прорыва к Будапешту немцы предприняли ряд яростных атак. 18 января пятью танковыми дивизиями наносится контрудар с целью прорыва к Дунаю. На отдельных участках это удалось. Но 27 января войска 3-го Украинского фронта нанесли мощный ответный удар, в результате которого к середине февраля отбросили противника в исходное положение, после чего на фронте наступило временное затишье.

Чтобы отвлечь часть советских сил с Берлинского направления и отсрочить начало их наступления на Берлин, немцы решили провести контрнаступление на Будапештском направлении, возложив эту задачу на 6-ю танковую армию СС, срочно переброшенную с западно-европейского фронта. Армия в составе 7 танковых дивизий, оснащенных наиболее современными танками типа «Пантера», «Королевский тигр» и самоходными установками «Фердинанд» (до 1600 танков и штурмовых орудий), должна была нанести главный удар между озерами Веленце и Балатон. На направлении главного удара сосредоточивается крупная танковая группировка с плотностью до 76 танков на 1 км фронта.

1228-й стрелковый полк находился на левом фланге 113-й стрелковой дивизии, занимавшей оборонительный рубеж в районе озера Балатон.

Ночью 6 марта полк был поднят по тревоге. В свете ракет удалось разглядеть движущуюся массу немецких танков, которые шли с выключенными фарами. Рев сотен машин нарастал. Заговорили орудия 239-го отдельного истребительного противотанкового дивизиона. Танковая армада открыла ответный огонь. Перед выстрелом танки на мгновение замирали, после чего в расположении полка рвались снаряды. Несмотря на темноту, стрельба велась очень прицельно, что вызывало большое удивление среди солдат и командиров полка. Замолчали разбитые огнем танков орудия 239-го дивизиона. В ход пошли гранаты.

В результате ночной атаки 6-й танковой армии удалось преодолеть хорошо укрепленную инженерными оборонительными сооружениями, противотанковыми и противопехотными препятствиями оборону советских войск. За первые ночь и день наступления противник вклинился в нашу оборону на глубину 3-4 км. Этому успеху в большей мере способствовало массовое применение впервые в ходе войны приборов ночного видения, установленных на немецких танках.

Вполне вероятно, что бои у озера Балатон навели Г.К. Жукова на мысль использовать при штурме Берлина зенитные прожектора не только как прием психологического воздействия на противника, но и как способ «ослепить» немецкие приборы ночного видения.

* * *

Вторая мировая война стимулировала техническое развитие нового типа электровакуумных приборов, так называемых электронно-оптических преобразователей (ЭОП), которые стали основой для создания устройств ночного видения. В этих устройствах используется невидимое инфракрасное (ИК) излучение, освещающее объект, и благодаря ЭОП тот становится видимым. На основе таких преобразователей в Германии в 1936 году начали разрабатываться приборы ночного видения для прицеливания и наблюдения. Однако до 1942 года эта техническая новинка не пользовалась большой популярностью и эпизодически устанавливалась только на некоторых противотанковых самоходных артиллерийских установках (САУ). Гейнц Гудериан – «отец» немецких танковых войск – первый по достоинству оценил инфракрасные ночные прицелы и приказал форсировать исследования в данной области. Новая аппаратура, появившаяся в 1944 году, позволяла в темноте отчетливо различать цели на дистанции 1000 м, а с 400 м вести огонь на поражение. Правда, с хода прицельно стрелять было нельзя, хрупкие ИК-приборы при тряске не действовали, поэтому танкисты вели огонь только с коротких остановок.

На поздних образцах танка «Пантера» на командирских башенках устанавливался прибор FG 1250 вместе с 20-см прожектором, снабженным инфракрасным фильтром (вся система получила наименование «Uhu» – «Филин»). Танки «Пантера», выпускавшиеся к концу войны, были сконструированы так, что они всегда могли быть дополнительно снабжены приборами ночного видения. К 1945 году на военных заводах Германии производилось до 1000 ЭОП в месяц. Немецкие фирмы RPF и AEG к концу войны выпускали для Армии Вермахта более 10 типов приборов ночного видения. Именно благодаря им, несмотря на значительное превосходство советских войск в танках и артиллерии, элитные танковые части СС в первую же ночь боев у озера Балатон прорвали мощную оборону Красной Армии.

В США основной фирмой по разработке ЭОП являлась RCA. Ее сотрудники Зворыкин и Мортон создали в 1936 году первый опытный образец с полностью электростатической фокусировкой. Для военных целей в США использовались исключительно преобразователи этой фирмы типа 1P25, на базе которых были разработаны приборы для всех родов войск.

В Англии в период с 1942 по 1945 гг. фирмы Gramophone Co. und Bros. изготовили несколько тысяч электронно-оптических преобразователей CV144 и CV148, которые использовались для разработки приборов ночного видения.

С. Берия в своей книге «Мой отец Лаврентий Берия» писал, что по некоторым данным в 1943 г. чертежи и сам прибор ночного видения, добытые нашей разведкой в Англии, поступили в СССР, где за шесть месяцев на отечественной элементной базе под руководством П.Н. Кукусенко создается подобный прибор. Это утверждение вызывает некоторые сомнения, так как отечественная элементная база того времени еще не позволяла создать прибор ночного видения, тем более за шесть месяцев.

Из четырех известных нам постановлений Государственного комитета обороны (ГКО), относящихся к научно-производственной деятельности завода № 747 и НИИ-160, в двух рассматриваются вопросы производства приборов ночного видения. В Постановлении № 3637 от 23 июня 1943 года «О формировании специальных рот и об обеспечении их специальными оптическими приборами» отмечается, что все специальные оптические приборы, основанные на действии инфракрасных лучей, являются приборами особой секретности и что необходимо проводить научно-технические и конструкторские работы по дальнейшему усовершенствованию этих приборов. Это постановление ГКО указывает на то, что прибор ночного видения был создан, и теперь надо было наладить его серийный выпуск.

В 7-м пункте постановления предписано: «Утвердить мероприятия по строительству завода № 747 НКЭПа, обязав Наркомэлектропром (т. Кабанов) и Главвоенпромстрой при СНК СССР (т. Шапиро) к 25 июля 1943 года закончить строительство корпуса № 48 этого завода».

В Приложении № 2 перечислены необходимые мероприятия по строительству завода № 747 НКЭП, среди них: «Обязать Главвоенпромстрой при СНК СССР обеспечить окончание строительных, санитарно-технических и электромонтажных работ по следующим объектам завода № 747:

- машиностроительный цех – в августе;
- металлургический цех – в сентябре;
- полное окончание установки подстанции № 15 – в сентябре;
- котельная и все внешние коммуникации – в ноябре;
- компрессорная – в декабре;
- деревянная столовая – в сентябре;
- достроить дом (одна секция) и ремонт двух бараков – в августе;
- достроить 32-х квартирный дом и закончить строительство одного деревянного 8-ми квартирного дома – в декабре».

Среди других мероприятий:

«Обязать Кабанова выдать в 2-дневный срок все указания по производству работ и техдокументации по корпусу № 48.

Обязать Госплан СССР предусмотреть в плане 3-го квартала выделение фондов на материалы и оборудование для строительства завода № 747, согласно Приложению № 2а.

Запретить кому бы то ни было аннулирование или сокращение выделенных для строительства завода № 747 фондов на материалы и оборудование до их полной реализации».

Для ускорения работ по строительству завода ГКО обязал Промбанк СССР «финансировать их проведение без проектов и смет по фактически выполненным объемам и согласованным между НКЭП и Главвоенпромстроем единичным расценкам».

Из текста этого приложения видно, что фактически значительная часть восстановительных и строительных работ как на заводе, так и в поселке Фрязино была предусмотрена постановлением ГКО от 23 июня 1943 г. и что эти работы связаны с организацией производства электронно-оптических преобразователей на заводе.

Вслед за постановлением издается приказ по заводу от 6 июля 1943 г., в котором его директор И.И. Каминский дает указание начальникам ряда служб. Кроме производственных задач, в этом приказе есть пункты, направленные на улучшение социально-бытовых нужд рабочих и ИТР. Например: «Нач. ОРС – моему заместителю т. МАКСИМОВУ:

- а) получить дополнительно десять карточек на literное питание для руководящих ИТР;
- б) получить в июле единовременно промтоваров на 50 тыс. руб. для продажи рабочим и ИТР без промтоварных карточек;
- в) получать ежемесячно дополнительно по 200 гр. табаку для рабочих и ИТР завода на 100 человек».

А начальнику ОКСа Григорьеву и главному бухгалтеру Гранатову принять к сведению, что ГКО разрешил НКЭП и Главвоенпромстрою:

- «...а) установить накладные расходы по строительству завода № 747 в размере 28%;
- б) ввести коэффициент к расценкам рабочих и зарплате ИТР и служащих в размере 1,2 и премиально-прогрессивную оплату труда рабочих по шкале, утвержденной для строителей черной металлургии, с отнесением этих оплат за счет сметы производства;
- в) установить за счет сметы производства премиальный фонд в размере 2% от стоимости выполненных работ».

В начале декабря 1943 года в НИИ-160 поступило новое постановление ГКО. Из приказа, изданного на основании этого постановления, видно, какая ответственность легла на институт и завод. Поэтому мы приводим его с незначительными сокращениями.

Сов. секретно
экз. № 1

П Р И К А З № 14
П О И Н С Т И Т У Т У № 160

Во исполнение Постановления Государственного Комитета Обороны за № ГОКО-4712 от 2 декабря 1943 г. «О производстве оптических приборов инфракрасного видения и станций инфракрасного освещения» и приказа Народного Комиссара Электропромышленности СССР от 12 декабря 1943 года за № К-730сс

П Р И К А З Ы В А Ю :

1. Пом. Начальника Института по капитальному строительству т. Шимановскому Л.Я.:

а) обеспечить окончание всех строительных и монтажных работ по спец. цеху в корпусе № 48 до 25 января 1944 г.;

б) обеспечить окончание восстановления котельной № 57 в объеме, достаточном для отопления корпуса № 48, корпусов № 3 и № 8, до 25 января 1944 г. . .

2. Начальнику технического отдела т. Мишкину А.Г.:

а) до 20/XII с. г. передать в ОГМ перечень инструмента и оборудования, подлежащего изготовлению, для обеспечения пуска первой очереди производства электронных оптических преобразователей, утвердив его у Главного инженера завода, и лично проследить за изготовлением в установленные сроки;

б) проверить весь технологический и конструктивный документаж по ЭОПам, сличив его с фактическим состоянием технологии и конструкций на заводе № 632, до 1/I-44 г. и внести необходимые исправления;

в) обеспечить производственный отдел завода до 25/XII-43 г. техническими нормами расхода материалов и полуфабрикатов;

г) обеспечить ОТК техническими условиями и нормами испытания ЭОПов до 25/XII-43 г.

3. Главному механику завода т. Иванову Б.Д. обеспечить изготовление инструмента, оборудования и инвентаря, необходимого для производства ЭОПов, по перечню технического отдела до 20/I-44 г.

4. Главному энергетiku завода т. Фролову Ф.А. обеспечить до 25/I-44 года подключение оборудования к сетям воздуха, газа, воды и электроэнергии.

5. Назначить начальником цеха № 33 инженера Роговина И.Е.

6. Начальнику производства т. Лещеву М.А. и нач. цеха № 33 тов. Роговину И.Е.:

а) до 1 января 1944 г. представить в отдел № 9 заявку на необходимые для производства ЭОПов материалы и полуфабрикаты;

б) до 15 января 1944 года организовать обучение выделенных для производства ЭОПов рабочих на заводе № 632.

7. Зам. директора завода т. Григорьеву К.И. и нач. отдела № 9 т. Мамонтову Д.В.:

а) обеспечить получение всех материалов и полуфабрикатов по заявке производственного отдела до 15 января 1944 г.;

б) обеспечить полную реализацию пунктов Постановления ГОКО от 23/VI-43 г. за № 3637сс, подтвержденного Постановлением ГОКО от 2/XII-43 г.

8. Пом. Начальника Института по найму и увольнению т. Поварову С.А.:

а) укомплектовать штат цеха № 33 рабочей силой в соответствии с заявкой нач. цеха № 33, утвержденной Гл. инженером;

б) подготовить специальные пропуска на вход в спец. цех (цех № 33) и организовать его охрану, начиная с момента, когда там будет установлено оборудование.

9. Нач. ОТК т. Струтинскому Н.И. подготовить к 1/II-44 г. необходимую аппаратуру для испытания ЭОПов и установить ее в цехе № 33.

10. Зам. Начальника Института т. Зусмановскому С.А. выделить 2-х инженеров из числа работников лаборатории для помощи в налаживании производства ЭОПов на заводе, возложив на них ответственность за конкретные участки работы в цехе № 33.

11. Контроль за выполнением настоящего приказа возложить на Главного Инженера завода т. Бухарина К.И.

12. Предупредить всех перечисленных в приказе лиц об особой ответственности за выполнение всех пунктов данного приказа точно в установленные сроки.

За начальника института

И.И. Каминский

Приказ свидетельствует о том, что НИИ-160 готовился к выпуску ЭОП. Однако в Постановлении ГКО № 4712 от 2 декабря 1943 г. «О производстве оптических приборов инфракрасного видения и станций инфракрасного освещения» завод № 747 упоминается только один раз – в разделе «мероприятия», где в пункте «в» сказано: «Организовать на заводе № 747 и 632 производство вакуумного оборудования для оснащения им цехов, изготавливающих электронно-оптические преобразователи». Получается, что этим постановлением на НИИ-160 возлагалась задача не по выпуску ЭОП, а только по изготовлению вакуумного и измерительного оборудования для их производства.

Теперь коротко рассмотрим историю создания, конструкцию и технологию изготовления ЭОП.

Электронно-оптический преобразователь был предложен и описан в 1934 г. голландскими учеными Г. Холстом и Я.Х. де Буром и в дальнейшем детально разработан американскими исследователями В.К. Зворыкиным и Г. Мортоном. В 1943 г. советский ученый М.М. Бутслов исследовал электронно-оптические характеристики двух- и трехэлектродных ЭОП с электростатической линзой типа цилиндр – диафрагма.

По существу, свою родословную ЭОП ведет от созданных в 30-е годы фотоэлементов, фотоумножителей и других приборов, основанных на преобразовании энергии электромагнитного излучения оптического диапазона в электрическую.

В те годы фотоэлектронные приборы выпускались на Московском электроламповом заводе (МЭЛЗ) и на ленинградской «Светлане», где С.А. Векшинский разработал первые конструкции фотоумножителей сквозного действия, которые по принципу работы были близки к ЭОП. В области фотоэффекта проводились исследования и в Ленинградской центральной радиолaborатории (ЦРЛ). В ней начиная с 1934 года Мстислав Михайлович Федоров (директор НИИ-160 с 1953 г. по 1961 г.) вел темы по цезиевым фотоэлектронным иконоскопам и таллиевым фотосопrotivлениям. Когда же встал вопрос об их внедрении в производство, М.М. Федоров в 1936 г. вместе с группой, которой он руководил, переводится на завод «Радиолампа» во Фрязино. Здесь он возглавил проектирование цеха таллиевых фотоэлементов. Во вновь созданном цехе он стал старшим технологом. Маловероятно, что после эвакуации завода в 1941 году что-нибудь сохранилось от предвоенного цеха фотоэлементов.

Электронно-оптический преобразователь, по существу, тот же триод, где есть катод, анод и управляющее движением электронов устройство (в триоде это сетка). И там и тут электроны движутся от катода к аноду. Но принцип действия и устройство этих приборов различны.

Основой ЭОП являются фотокатод и люминесцирующий экран. Падающий на фотокатод невидимый инфракрасный свет соответственно распределению его интенсивности высвобождает большее или меньшее количество электронов, под воздействием которых люминесцентный экран излучает свет, но уже в видимой части спектра. На пути от фотокатода к экрану поток электронов фокусируется в его плоскости магнитными или электростатическими полями. По принципу действия, ЭОП – та же электронно-лучевая трубка, в которой источником электронов является фотокатод.

Сотрудникам НИИ предстояло освоить новое для себя производство фотокатодов и экранов ЭОП, в технологическом цикле которых насчитывается более чем по двадцать различных операций.

Надо сказать, что приказ № 14 по НИИ-160 является единственным документом, сохранившимся в архивах «Истока», в котором рассматриваются вопросы, связанные с производством электронно-оптических преобразователей. Поэтому неизвестно, какого типа и в каком количестве они выпускались. А может быть, их выпуск так и не был начат? Попробуем разобраться в этом.

Постановление ГКО о производстве оптических приборов инфракрасного видения вышло в декабре 1943 года. Но еще в июне в приказе № 3 по опытному заводу № 747 говорится: «На завод возложено изготовление весового стекла и колб из состава № 23, предназначенных для выполнения заказа исключительной важности на заводе № 632». В конце приказа после соответствующих указаний руководители подразделений предупреждаются: «... невыполнение задания по выработке стекла, несвоевременную отгрузку его заводу № 632 будут рассматривать как саботаж при выполнении важнейшего Правительственного заказа».

Завод № 632 (МЭЛЗ) выпускал электронно-лучевые, фотоэлектронные и газоразрядные приборы для отечественных РЛС. Два цеха по производству приемно-усилительных ламп и электронно-лучевых приборов были восстановлены в феврале 1942 года. Первоначально выпуск электронно-оптических преобразователей организуется в одном из этих цехов. Для обеспечения производства ЭОП, а также других электровакуумных приборов завод № 747 поставляет московскому заводу весовое стекло и колбы. В начале 1943 года на МЭЛЗе организуется производство по восстановлению вышедших из строя генераторных ламп ИГ-8 для радиолокационных станций РУС-1 и РУС-2. Вполне возможно, что в связи с увеличением объемов производства на московском заводе и принимается решение о передаче выпуска ЭОП в НИИ-160.

Согласно приказу, все строительные и монтажные работы по специальному цеху № 33 намечалось закончить до 25 января 1944 года. В документах того периода встречаются сведения о новом цехе (очевидно, имеется в виду цех № 33) и о цехе новых технологий.

Упоминания о цехе № 33, в состав которого входил опытно-экспериментальный цех № 4, вновь появляются в 1947 году, где он фигурирует уже как цех по производству электронно-лучевых трубок (ЭЛТ). Но в то же время комиссия Министерства промышленности средств связи (МПСС) в июне того года отмечала, что цех № 33 еще не организован. Выпуск ЭЛТ, технология изготовления экранов которых близка к технологии люминесцентных экранов ЭОП, предусмотрен еще в постановлении ГКО от 23 сентября 1943 года. По нему необходимо было изготовить в IV кв. 1943 г. 350 шт. ЭЛТ, в 1944 г. – 2,5 тыс., а в 1945 г. – 10 тыс. (этот рубеж удалось достигнуть только в 1950 году). Первую партию в 350 штук вместо 1943 года выпустили на опытном заводе только спустя два года. Все вышеприведенные данные не дают ответа на вопрос, выпускались ли в НИИ-160 электронно-оптические преобразователи. Попробуем к этой проблеме подойти с другой стороны.

Согласно приказу по НИИ, начальником цеха № 33 назначается инженер Игорь Ефимович Роговин. С 1937 года по октябрь 1941 года после окончания МЭИ он работал ассистентом в Казахском государственном университете, откуда был призван в армию. В январе 1943 года, согласно постановлению правительства о демобилизации из рядов Красной Армии работников электровакуумной промышленности и направлении их на соответствующие предприятия, И.Е. Роговин прибывает во Фрязино, на завод № 747. Несколько месяцев (до 8 июля этого года) он работает в техническом отделе, а затем переводится на должность начальника

БРИЗа. Через шесть месяцев, в декабре, он назначается начальником цеха № 33. Здесь возникает вопрос: почему инженер, опыт которого в электронной промышленности всего один год, становится руководителем такого ответственного (судя по тексту приказа) цеха? Может быть, он имел какие-то выдающиеся способности? А может быть, некого было больше назначить на эту должность? Так или иначе, но в начале 1945 года Роговину приказом по НИИ «за добросовестную и хорошую работу по налаживанию производства локационных ламп в 1944 году» была объявлена благодарность и выдана денежная премия (700 рублей). Но в это время он был уже начальником заготовительного цеха № 37, из которого спустя пять месяцев, 1 марта, переводится на должность заместителя начальника ОТК, а еще через 2 месяца, 7 мая, назначается начальником опытного цеха. В январе 1946 года Роговин, по личной просьбе, переводится в научную часть НИИ, в лабораторию новой технологии, старшим механиком. В 1948 году он заканчивает аспирантуру и защищает кандидатскую диссертацию на тему «К вопросу расчета многокамерных магнетронов», как видим, весьма далекую от проблем, связанных с производством ЭОП. В дальнейшем И.Е. Роговин будет руководителем ряда лабораторий и отделов (150, 270), которые разрабатывали магнетроны, а в 1958 году его переводят в НИИ-325 (г. Саратов) главным инженером – научным руководителем.

Такая перестановка в руководстве подразделений в 40-е годы в НИИ-160, какую мы видим на примере И.Е. Роговина, связана, с одной стороны, с отсутствием необходимого количества квалифицированных кадров. Так, в 1944 году в научной части НИИ было всего 38 дипломированных инженеров, а на опытном заводе – 49. В то же время, с другой стороны, перед НИИ стояло большое количество задач, связанных как с вопросами его организации, так и с выполнением многочисленных производственных заданий. В силу этих и других причин то там, то здесь возникали проблемы, на ликвидацию которых направляли более или менее опытных специалистов.

В 1947 году из 67 ИТР научной части 45 человек не имели даже 3-летнего стажа работы в электровакуумной промышленности. Поэтому кадровый вопрос в первые годы становления НИИ-160 стоял очень остро.

Как видим, и материалы личного дела первого начальника цеха № 33 И.Е. Роговина не дали ответ на интересующий нас вопрос. А может быть, отсутствие каких-либо сведений об ЭОП связано с их особой секретностью? Ведь было же на предприятии в конце 40-х годов ОКБ-160, которое занималось разработкой масс-спектрометров. Но вряд ли тогда кто-нибудь знал, что эти масс-спектрометры применялись в работах по созданию отечественной атомной бомбы. На них разделяли изотопы урана 238 и 235. Все это было засекречено. Вооруженная охрана стояла и на входе в корпус, и на втором этаже, и при входе в комнату, где работали масс-спектрометры. Из комнаты в комнату сотрудники ходили через охрану, предъявляя специальные пропуска со штампом первого отдела и круглой печатью института. Не удивительно, что по этой теме, так же как и по ЭОП, не удалось обнаружить каких-либо материалов и документов.

А может быть, все значительно проще. Сначала сразу замахнулись на создание приборов ночного видения, а потом поняли, что без соответствующей технологии и оборудования этой проблемы не решить. И к тому же к концу войны надобность в приборах ночного видения как-то отпала, а перед НИИ-160 были поставлены новые важные задачи. Поэтому вопрос о производстве электронно-оптических преобразователей в НИИ-160 пока остается открытым.

В качестве дополнения к вышесказанному хочется отметить, что в предложениях министерской комиссии, обследующей работу института в июне 1947 года, сказано, что в настоящее время в НИИ-160 не ведутся работы по ряду разделов электровакуумной техники, среди которых названы рентгентехника (при рентгеноскопии для увеличения яркости экрана используются ЭОП) и фотоэлементы. Комиссия рекомендует, в связи с тематической загруженностью НИИ-160, не развивать эти направления в институте, а проводить их в других организациях электровакуумной промышленности.

И еще. В 1959 году в СССР действовало 12 промышленных предприятий и разрабатывающих организаций, выпускающих электровакуумные приборы. Учитывая особую важность развития электронной промышленности, ЦК КПСС и СМ СССР своим постановлением от 3 декабря 1958 года предусмотрели строительство 16 новых предприятий. В организации многих из них принимали участие сотрудники НИИ-160. Среди вновь создаваемых заводов и НИИ был и Новосибирский завод электронно-лучевых приборов по производству электронно-оптических преобразователей.

Статья поступила 3 марта 2008 г.

=== НОВЫЕ КНИГИ ===

ИНДЫК В.И. Стационарная и Динамичная Вселенная (новая космологическая теория). - М.: Университетская книга, 2007. - 264 с.

В книге изложена новая космологическая теория или, как часто говорят, модель Вселенной, которую автор назвал «Стационарная и Динамичная Вселенная» (СДВ). Она призвана сменить ныне принятую модель, именуемую гипотезой Большого Взрыва (ГБВ). Сегодня ГБВ переживает кризис: она не может объяснить многие явления, происходящие в космосе.

Новая теория, как и ГБВ, опирается на известные наблюдательные факты: взаимное удаление («разбегание») галактик; исход траекторий галактик из одной области пространства («точки»); изотропное фоновое микроволновое излучение во Вселенной и др. Но трактовка этих фактов дана другая, что и привело к созданию совершенно иной модели Вселенной, в которой идея Большого Взрыва не используется.

Автор формулирует новые гипотезы о движении галактик и, анализируя это движение, устанавливает строение Вселенной, а также определяет базовые физические процессы, протекающие в ней.

Новая теория позволяет вывести космологию из тупика, в котором она оказалась вследствие ориентации на ГБВ. С ее помощью уже получены ответы на ряд актуальных вопросов науки.

Отдельный раздел книги посвящен приложениям новой космологической теории (СДВ) к решению общих проблем естествознания. Здесь читатель найдет научно обоснованные ответы на вопросы: Конечна или бесконечна наша Вселенная? Двигается ли она? Каково будущее вселенной? Закономерно ли появление во Вселенной Жизни? А Разума? Существуют ли другие вселенные? Существуют ли внеземные цивилизации и возможен ли с ними контакт?

Новая теория является важным шагом на пути к познанию Вселенной. Она, безусловно, окажет влияние на естественные науки и мировоззрение людей.

Книга адресована специалистам в области астрономии, космологии и философии, преподавателям и студентам соответствующих специальностей, а также читателям, которые интересуются последними достижениями науки.

КАТАЛОГ
информационных изданий на 2008 г.

Проводится подписка на следующие виды изданий:

- «**Электронная техника**», серия 1 «**СВЧ-техника**» (4 вып. в год). Стоимость подписки – 1180 руб., включая НДС (18 %).

Журнал зарегистрирован Министерством Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций (свидетельство ПИ № ФС 77-24651 от 6 июня 2006 г.) и включен в перечень ВАК (перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук)

- «**Новости СВЧ-техники**» – информационный сборник (12 вып. в год). Стоимость подписки – 1180 руб., включая НДС (18 %).

Для оформления подписки необходимо произвести оплату по указанным ниже банковским реквизитам:

ФГУП «НПП «Исток», ИНН 5052002576, р/с 40502810640480100019, «Сбербанк России» г. Москва,
БИК 044525225, к/с 30101810400000000225, ОКПО 07622667,
ОКОНХ 95120, КПП 509950001, ОСБ 2575 г. Щелково

и выслать копию платежного поручения и бланк-заказ по адресу:

141190, г. Фрязино, Московская обл., ул. Вокзальная, 2а,
ФГУП «НПП «Исток», НПО-100; тел./факс: (495)465-86-12.

Счет-фактура высылается заказчику после получения оформленных документов на подписку.

ЗАКАЗ

Прошу принять подписку на «_____» на 2008 г. и направлять по адресу:

Куда _____
(почтовый индекс, адрес)

Кому _____
(название организации)

Заказ оплачен платежным поручением № _____ дата _____
на сумму _____ за _____ экз.

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

СЕРИЯ 1

«СВЧ-ТЕХНИКА»

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Редактор Хоточкина Л.Н.

Компьютерная верстка Земскова Л.А.

Коррекция рисунков Лазарева Т.В.

Подписано к печати	Усл. п. л. 8	Формат 60×88 ^{1/8}
7.04.2008 г.	Уч.-изд. л. 8,5	Тираж 200
Заказ № 148	Индекс 36292	8 статей

ФГУП «НПП «Исток» 141190, г.Фрязино, Московская обл., ул.Вокзальная, 2а
Тел.: (495)465-86-12. Факс: (495)465-86-12
E-mail: istok-info@flexuser.ru