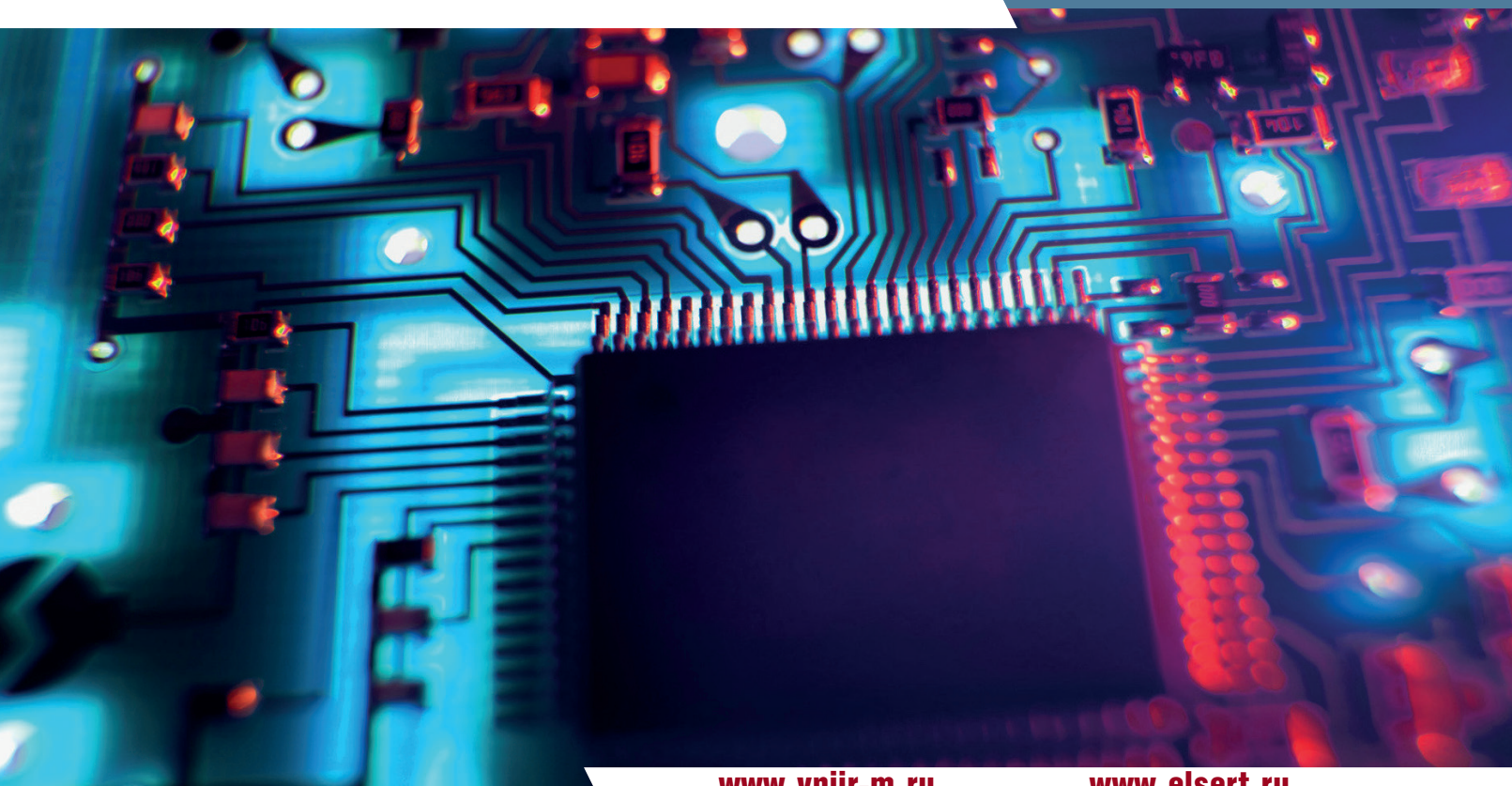


# 1 (13) | РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: 2024 | ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ



[www.vniir-m.ru](http://www.vniir-m.ru)

[www.elsert.ru](http://www.elsert.ru)

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ  
КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТЬ  
СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ  
ЭКОНОМИКА ОТРАСЛИ

Система добровольной сертификации радиоэлектронной аппаратуры, электронной компонентной базы и материалов военного, двойного и народнохозяйственного назначения «Электронсерт» (рег. № РОСС.RU.B1169.04 ЖНБО от 21.02.2014 г.)



## АНО «ЦЕНТР СЕРТИФИКАЦИИ, ОБУЧЕНИЯ И КОНСАЛТИНГА «ЭЛЕКТРОН СЕРТИФИКА»



### СЕРТИФИКАЦИЯ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

- ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ РАЗРАБОТЧИКОВ ЭКБ И РЭА
- ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ ИЗГОТОВИТЕЛЕЙ ЭКБ И РЭА
- ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ ПОСТАВЩИКОВ ЭКБ И РЭА



### МЕТОДИЧЕСКИЕ УСЛУГИ

- СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ-РАЗРАБОТЧИКОВ, ИЗГОТОВИТЕЛЕЙ ЭКБ
- СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПОСТАВЩИКОВ ЭКБ
- СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ (ЦЕНТРОВ)



### ОБУЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ

- СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ
- ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ЭКБ В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ (ЦЕНТРАХ)
- МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗРАБОТКИ И ИСПЫТАНИЙ ЭКБ И РЭА
- ПРИМЕНЕНИЕ ЭКБ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ИНОСТРАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

141008, Московская область, г. Мытищи, ул. Матросова, д. 8,  
2-й этаж, офис 9 и 19

Московская область, г.о. Мытищи, г. Мытищи, ул. Колпакова, д. 2А



ВСЕРОССИЙСКИЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Головная научно-исследовательская испытательная организация Минпромторга России в области ЭКБ, а также научного обеспечения и межведомственной методической координации работ по созданию и проведению исследований (испытаний) изделий электронной компонентной базы.

## ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ ЭКБ И РЭА

Испытательный центр ЭКБ и РЭА ФГБУ «ВНИИР» имеет компетенции в области разработки и согласования программ и методик испытаний, а также аккредитован на проведение более 80 видов испытаний электронной компонентной базы и радиоэлектронной аппаратуры:

- Определение отсутствия признаков контрафактного происхождения;
- Диагностический и неразрушающий контроль (методами акустического и рентгеновского контроля);
- Широкий спектр испытаний на ЭМС;
- Функциональный контроль;
- Воздействие механических факторов;
- Воздействие климатических факторов;
- Воздействие плесневых грибов;
- Разрушающий физический анализ.

[vniir-m.ru](http://vniir-m.ru)

Телефон: +7 (495) 586-17-21

[vniir@vniir-m.ru](mailto:vniir@vniir-m.ru)

**РО Пир 1(13)/2024 (Основан в 2021 году)**

Зарегистрирован в федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-83479 от 15 июня 2022 г. Материалы журнала размещаются на сайте научной электронной библиотеки и включаются в национальную информационно-аналитическую систему РИНЦ.

**РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**

В.В. Шпак, кандидат экономических наук  
Г.Я. Красников, Президент РАН  
И.С. Иванов, генеральный директор ФГБУ «ВНИИР»  
С.И. Боков, доктор экономических наук  
А.В. Брыкин, доктор экономических наук  
В.Л. Гладышевский, доктор экономических наук  
Н.В. Завьялов, член-корреспондент РАН  
В.М. Исаев, доктор технических наук  
А.С. Сигов, академик РАН  
В.Б. Стешенко, кандидат технических наук  
А.А. Рахманов, доктор технических наук  
В.А. Телец, доктор технических наук  
А.В. Трусов, доктор технических наук

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:**

О.Ю. Булгаков, заслуженный работник связи Российской Федерации, кандидат военных наук

**Заместитель главного редактора:**

С.Б. Подъяпольский, кандидат технических наук

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

А.С. Афанасьев, кандидат технических наук  
В.В. Быканов, кандидат технических наук  
Л.П. Дюжакова, консультант редакционной коллегии  
П.С. Желтухин, доктор технических наук  
И.Н. Кабанов, доктор технических наук  
Р.Г. Левин, кандидат физико-математических наук  
С.С. Милосердов, кандидат технических наук  
Д.В. Орехов, кандидат экономических наук  
А.Г. Подольский, доктор экономических наук  
Д.А. Руденко, кандидат военных наук  
Ю.В. Рубцов, генеральный директор АО ЦКБ «Дейтон»  
В.А. Трусов, доктор технических наук  
Л.А. Фёдорова, академик Академии проблем качества  
В.Н. Храменков, доктор технических наук

**РЕДАКЦИЯ:**

В.В. Малышева, графический дизайнер  
В.А. Сахаров, редактор-корректор  
Ю.А. Зайцева, редактор-корректор  
О.Е. Николаева, редактор-корректор

Адрес редакции: Колпакова ул., д. 2а, г.о. Мытищи,  
г. Мытищи, Московская обл., Россия, 141002  
Тел/факс: +7 (495) 586-17-21 / +7 (495) 588-69-61

**Отпечатано:**

Юридический адрес: Колпакова ул., д. 2а, г.о. Мытищи,  
г. Мытищи, Московская обл., Россия, 141002  
Тел/факс: +7 (495) 586-17-21 / +7 (495) 055-05-99

Сдано в набор 15.03.2024 г.

Подписано к печати 25.03.2024 г.

Тираж 350 экз.

Редакция не несёт ответственности за содержание авторских материалов и достоверности сведений в рекламе.

Фотография на обложке – открытый источник сети Интернет.

Совместное учреждение и издание федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиоэлектроники» (ФГБУ «ВНИИР») и автономной некоммерческой организации «Центр сертификации, обучения и консалтинга «Электронсертифика» (АНО «Электронсертифика»). Журнал выпускается при содействии Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга России и Российского технологического университета – МИРЭА.

**СОДЕРЖАНИЕ****РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ**

*Денисов А.Н.* Импортзамещение ПЛИС на примере отечественных полукаказных микросхем на БМК серий 5503 и 5507 ..... 2  
*Амеличев В.В., Генералов С.С., Григорьев Д.М., Горелов Д.В., Никифоров С.В.* Оптимизация конструкции микронагревательного элемента для инфракрасного МЭМС излучателя ..... 5  
*Булгаков О.Ю.* Научно-методический подход при решении задач разработки технических требований к электронной продукции радиоэлектронной отрасли ..... 10

**КАЧЕСТВО И НАДЁЖНОСТЬ**

*Денисов А.Н., Козлов В.В., Коняхин В.В.* Универсализация микросхем низкой степени интеграции при переносе их производства на современные технологические нормы ..... 15  
*Рубцов Ю.В., Малышев В.Э., Назаренко А.А.* Автоматизированный визуальный контроль качества изделий микроэлектроники методом сравнения шаблонов ..... 18  
*Дульский Г.И., Старостин С.В., Французов С.С.* Экспресс-метод определения коэффициента ускорения испытаний и энергии активации при оценке соответствия изделий электронной компонентной базы требованиям к надежности ..... 22

**СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ**

*Зажигалкин А.В., Подъяпольский С.Б., Колядин А.В.* Онтология предметной области как основа для разработки комплекса взаимоувязанных документов по стандартизации в радиоэлектронике ..... 28  
*Винокуров А.В., Алексеева Т.И., Зайцева Ю.А.* К вопросу о менеджменте рисков ..... 32

**ЭКОНОМИКА ОТРАСЛИ**

*Подъяпольский С.Б., Булгаков О.Ю.* Методические рекомендации и требования к порядку проведения выездных проверок квалифицированных поставщиков ЭКБ ..... 34  
*Милосердов С.С., Пестун У.А., Хиль С.Ш., Эпенетосский В.Б.* Методический подход к оценке стоимостных показателей при сравнении альтернативных вариантов развития ракетно-космической техники ..... 36

**ИНФОРМАЦИЯ**

Перечень научных статей, опубликованных в 2023 году ..... 39

**ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ПЛИС  
НА ПРИМЕРЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПОЛУЗАКАЗНЫХ МИКРОСХЕМ НА БМК СЕРИЙ 5503 и 5507**

**IMPORT SUBSTITUTION OF FPGAs  
BY THE EXAMPLE OF DOMESTIC FUNCTIONAL ANALOGUES OF LSI ON BMK SERIES 5503 AND 5507**

**Денисов А.Н.**, к. т. н., главный конструктор направления интегральных микросхем  
НПК «Технологический центр», +7 (499) 720-87-93, +7 (499) 720-89-92, kovcheg@tcen.ru

**Denisov A.N.**, Candidate of Technical Sciences, chief designer of the integrated circuits department,  
Scientific-Manufacturing Complex "Technological Center", +7 (499) 720-87-93, +7 499 720-89-92, kovcheg@tcen.ru

**Аннотация.** *Обозначена проблематика применения зарубежных ПЛИС при проектировании электронных средств. Предложены альтернативы функциональных аналогов ПЛИС отечественного производства. В частности, перевод проекта на ПЛИС в базис БМК, что является наиболее простым и надежным способом получения функционального аналога ПЛИС. Описаны характеристики БМК серий 5503 и 5507.*

**Annotation.** *The problems of using foreign FPGAs in the design of electronic devices are outlined. Alternatives to functional analogues of domestically produced FPGAs are proposed. In particular, transferring the project to the FPGA into the BMK basis, which is the simplest and most reliable way to obtain a functional analogue of the FPGA. The characteristics of the BMK series 5503 and 5507, the possibility of testing them, operating conditions and delivery conditions are described. Also presented are domestic software tools for converting FPGA projects into the BMK basis.*

**Ключевые слова:** микросхема, БМК, ПЛИС, серия 5503, серия 5507, САПР, перевод проекта ПЛИС в БМК.

**Keywords:** integrated circuit, ULA, FPGA, 5503 series, 5507 series, CAD, design of LSI on ULA.

### Введение

Непрерывное обновление и расширение номенклатуры и ассортимента радиоэлектронной аппаратуры требует разработки специализированных микросхем. При этом потребность в специализированных микросхемах конкретных типов может быть крайне низкой и составлять сотни и даже десятки микросхем.

### Основная часть

Специализированные микросхемы можно разделить на три группы: заказные микросхемы, программируемые логические интегральные схемы (далее – ПЛИС), полужаказные большие интегральные схемы (далее – БИС) на основе базовых и базовых матричных кристаллов. Принято считать, что полностью заказные микросхемы обеспечивают максимальную функциональность, надежность и стойкость к внешним воздействующим факторам (далее – ВВФ), минимальную стоимость при массовом производстве, но требуют максимальных затрат при разработке и освоении производства, поэтому для производства малых партий БИС экономически не эффективны. ПЛИС, обладая преимуществами при разработке микросхемы, в то же время за счет наличия дополнительных элементов для программирования их структуры, снижающих надежность микросхем, имеют более высокое энергопотребление и более высокую стоимость по сравнению с заказными БИС. Полузаказные большие интегральные схемы занимают промежуточное положение между полностью заказными микросхемами и ПЛИС. По показателям надежности, энергопотребления и стойкости к ВВФ



Денисов А.Н.

они сравнимы с заказными БИС, по длительности цикла «разработка – изготовление – поставка» сопоставимы с циклом «разработка – поставка – специализация» для ПЛИС. Это достигается благодаря применению методов прототипирования проекта полужаказной БИС средствами имитатора базового матричного кристалла (далее – БМК) на ПЛИС. Производство полужаказных БИС наиболее эффективно при изготовлении малых и средних партий микросхем и может поддерживаться в течение длительного срока – более 15 лет.

Базовый матричный кристалл – это универсальная заготовка в виде кремниевой пластины, на которой сформированы кристаллы с матрицей транзисторных структур. Такие кристаллы называют базовыми, поскольку все фотшаблоны для их изготовления, за исключением слоев металлизации, являются постоянными и не зависят от реализуемой схемы. Простейшие элементы (КМОП транзисторы – комплементарная логика на транзисторах металл-оксид-полупроводник) располагаются на БМК в виде регулярной матрицы, поэтому его называют матричным.

В отличие от ПЛИС, логика работы которых задается посредством программно-управляемых элементов, БМК специализируется технологически в процессе микроэлектронного производства путем формирования соединений транзисторов на поле БМК в одном или нескольких слоях металлизации. В сравнении с ПЛИС в структуре БМК отсутствуют избыточные элементы, что в несколько раз снижает общую сложность микросхемы, повышая ее надежность.

Кроме того, необходимо отметить следующие преимущества БМК:

- развитая библиотека функциональных ячеек и типовых схемотехнических решений значительно упрощает процесс разработки логического проекта, уменьшает время и повышает качество проектирования;

- в составе одного БМК могут быть реализованы как цифровые, так и цифроаналоговые узлы и блоки;

- БМК имеют фиксированную геометрическую структуру, что значительно упрощает автоматическое размещение ячеек и синтез топологии БИС;

- формирование БИС на БМК выполняется с помощью малого числа фотошаблонов, что значительно уменьшает сроки изготовления и затраты при производстве БИС;

- БИС, разработанные на основе БМК, не требуют проведения квалификационных испытаний, что существенно сокращает сроки и стоимость освоения их в производстве.

БМК пришли на смену микросхемам малой и средней степени интеграции и имеют в сравнении с ними неоспоримые преимущества:

- уменьшение габаритов аппаратуры за счет снижения количества используемых микросхем и уменьшения размеров печатных плат;

- повышение технических характеристик за счет увеличения системного быстродействия и сокращения потребляемой мощности;

- повышение надежности изделия за счет более высокой надежности БИС;

- возможность объединения в полузаказной микросхеме на основе БМК цифровой и аналоговой обработки информации;

- обеспечение защиты разработки за счет применения полузаказных микросхем, электрическую схему которых сложно повторить;

- возможность мелкосерийного выпуска БИС и др.

Область применения конкретного БМК определяется многими факторами – размером поля БМК, количеством внешних выводов, параметрами надежности и устойчивостью к ВВФ, параметрами технологии и технологическими нормами, конструкцией ячеек поля БМК и периферийных ячеек, составом библиотеки функциональных ячеек, эффективностью и доступностью средств проектирования, сроками и стоимостью разработки, изготовления и поставки микросхем и др.

Основные достоинства БМК заключаются в снижении стоимости и сроков проектирования в сочетании с вы-

сокими эксплуатационными параметрами. Появление на рынке ПЛИС значительно расширило возможности разработчиков аппаратуры и составило конкуренцию БМК при создании изделий, на которые не распространялись ограничения по применению импортной элементной базы. Именно поэтому наиболее широкое распространение при реализации целевой аппаратуры в недавнем прошлом получили импортные ПЛИС, вопрос импортозамещения которых сегодня стоит крайне остро. В нынешних условиях разработчики и производители электронной аппаратуры столкнулись с ограничениями при использовании ПЛИС зарубежного производства фирм XILINX, ACTEL и ALTERA и др. Аналогичная ситуация складывается не только с ПЛИС, но и с микросхемами малой и средней степени интеграции.

ПЛИС появились на рынке микроэлектронных компонентов, как развитие БМК, функционализация которых выполнялась программным способом. Поэтому переход с проекта на ПЛИС в базис БМК является наиболее простым и надежным способом получения функционального аналога ПЛИС. В случае замены импортных микросхем малой и средней степени интеграции отечественными специализированными микросхемами на БМК наиболее эффективным является реализация набора связанных друг с другом микросхем низкой степени интеграции одной микросхемой, которая может объединить в своем составе десятки таких микросхем.

На сегодняшний день специализированные микросхемы на БМК продолжают выпускать АО «Ангстрем» и НПК «Технологический центр». При этом НПК «Технологический центр» специализируется на разработке и производстве микросхем для жестких условий эксплуатации (включая космос), обеспечивая поставки как малых (десятки штук), так и средних (десятки тысяч штук) партий микросхем.

Созданные специалистами НПК «Технологический центр» серии БМК 5503 и 5507 широко применяются в аппаратуре специального и космического назначения. На основе этих серий БМК разработано более 600 типов БИС, в том числе для таких космических аппаратов и кораблей, как: «Прогресс-М», «Союз-ТМА», «Меридиан», «Лабиринт», «Пион», «Аркон-2», «Электра», «Луч», «ГЛОНАСС-М», «ГЛОНАСС-К», «Кондор», «Экспресс», системы управления разгонным блоком «Бриз-М» и многих других.

БМК серии 5503 и 5507 входят в Перечень электронной компонентной базы, разрешенной к применению. БМК 5503ХМ1, 5503ХМ2 и 5503ХМ5 соответствуют требованиям ОСТ В 11 0398, БМК 5503БЦ7У, 5507БЦ1У, 5507БЦ2У, 5507БЦ5У и 5507БЦ7У - требованиям ОСТ В 11 0998.

При изготовлении БИС на БМК серий 5503 и 5507 применяются металлокерамические планарные корпуса с шагом выводов 0,5 мм или 1 мм (количество пользовательских выводов – от 26 до 80), которые имеют широкий температурный диапазон и обеспечивают высокую плотность монтажа аппаратуры. Основные характеристики серий БМК приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики БМК серий 5503 и 5507

Тип БМК	Количество условных вентиляей в поле БМК	Количество внешних контактов	Напряжение питания, В	Рабочая частота, МГц	Тип корпуса
H5503XM1	576	28	5	30	H09.28-1B
5503XM1Y					5123.28-1
H5503XM2	1296	42	5	30	H14.42-1B
H5503XM5	3072	64	5	30	H18.64-1B
5503XM5T					МК 4239.68-2
5503БЦ7У	5478	64	5	25	H18.64-1B
5503БЦ7Т					МК 4239.68-2
5507БЦ1У	576	28	3	25	H09.28-1B
5507БЦ2У	1296	42	3	25	H14.42-1B
5507БЦ5У	3072	64	3	25	H18.64-1B
5507БЦ7У	5478	64	3	25	H18.64-1B

Отличительной особенностью этих серий БМК является наличие отечественных средств проектирования (САПР «Ковчег 3»), которые предоставляются бесплатно. Вы можете перепроектировать и отладить проект самостоятельно. В этом случае мы предоставляем скидку в размере 30 % стоимости договора на разработку и изготовление экспериментальных образцов БИС на БМК.

Предоставляемые средства проектирования позволяют быстро и качественно разработать и аттестовать (с учетом условий эксплуатации) проект специализированной

микросхемы именно для вашей аппаратуры, получив при этом заметный экономический эффект и увеличив плотность компоновки аппаратуры.

Серия БМК 5503 с напряжением питания 5 В и серия 5507 с напряжением питания 3 В также эффективно позволяют реализовывать проекты ПЛИС сложностью до 30 тысяч условных вентиляей с рабочими частотами до 30 МГц. Особенно актуально это для ПЛИС с напряжением питания 5 В, которые сняты с производства. Типы, краткие характеристики ПЛИС и их реализуемость на серии БМК 5503 приведены в таблице 2.

Таблица 2

Типы и краткие характеристики ПЛИС

Фирма-изготовитель	Семейство ПЛИС	Количество условных вентиляей	Количество используемых контактов	Количество типов ПЛИС (Упит. = 5 В)	Количество реализуемых типов на серии БМК 5503
XILINX	XC2000	600-1500	58-74	2	2
	XC3000	1000-6000	64-320	10	6
	XC3100	1000-7500	64-484	12	6
	XC4000	2000-25000	64-256	12	4
	XC5200	2200-18000	84-244	5	3
Actel	A1010B	1200	34-57	5	5
	A1020B	2000	34-69	7	7
	A1225A	2500	72-83	4	4
	A1240A	4000	72-104	4	4
	A1280A	8000	72-140	5	2
	A1415A	1500	70-80	4	4
	A1425A	2500	70-100	6	6
	A1440A	4000	70-140	5	3
	A1460A	4000-6000	131-168	6	1
A14100A	10000	175-228	4	0	
Altera	Classic	100-500	8-48	22	22
	MAX5000	300-2000	16-64	18	18
	MAX7000	300-3000	32-160	41	36
	FLASHlogic	400-1600	30-172	10	8
	MAX9000	3000-6000	56-212	12	9
	FLEX8000	2000-45000	64-360	28	19
	FLEX10K	10000-100000	150-406	7	0

Примечание: При анализе возможности реализации проектов ПЛИС на БМК серии 5503 в качестве критерия рассматривалось количество внешних выводов и объем схем, реализуемых на ПЛИС

Срок перевода проекта ПЛИС в БМК, как и разработки специализированной микросхемы для замены микросхем низкой степени интеграции, с изготовлением экспериментальных образцов составит 2-3 месяца, а после этого осуществляется поставка опытных и серийных образцов в необходимом количестве. При этом производство микросхем будет выполнено в любой момент времени в кратчайший срок (не более 3 месяцев) по вашему заказу.

Помимо серий БМК 5503 и 5507 НПК «Технологический центр» разработаны новые серии базовых структурированных кристаллов, позволяющих реализовывать специализированные микросхемы сложностью до 4 миллионов условных вентилях. В следующих статьях я подробнее расскажу об этих изделиях.

### Заключение

В статье представлен наиболее простой и надежный способ получения отечественных функциональных аналогов импортных ПЛИС - переход с проекта на ПЛИС в базис БМК. Указаны программные средства перевода проектов и функциональные характеристики типономиналов микросхем на БМК. Описанная в статье альтернатива применения зарубежных ПЛИС особенно актуальна сегодня в условиях невозможности применения импорт-

ной элементной базы при разработке и производстве РЭА.

Все интересующие вопросы можно задать по телефону или электронной почте, указанных в информации об авторе статьи.

### Литература

1. Денисов А.Н. Полузаказные БИС на БМК серий 5503 и 5507. Практическое пособие. В 4 т. Т.1. Методология проектирования и освоение производства. / Денисов А.Н., Коныхин В.В. / [под ред. академика РАН Саурова А.Н.]. – М.: Техносфера, 2019. – 200 с.
2. Гаврилов С.А. Полузаказные БИС на БМК серий 5503 и 5507. Практическое пособие. В 4 т. Т.2. Система автоматического проектирования «Ковчег 3.04». / Гаврилов С.А., Денисов А.Н., Коныхин В.В., Соколовская М.М. / [под ред. академика РАН Саурова А.Н.]. – М.: Техносфера, 2019. – 308 с.
3. Денисов А.Н. Полузаказные БИС на БМК серий 5503 и 5507. Практическое пособие. В 4 т. Т.3. Библиотека функциональных ячеек для проектирования полузаказных микросхем серий 5503 5507. Денисов/ А.Н., Фомин Ю.П., Коныхин В.В., Фёдоров Р.А. / [под ред. академика РАН Саурова А.Н.]. М.: Техносфера, 2019. – 316 с.

УДК: 621.382.2/3

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ МИКРОНАГРЕВАТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ ИНФРАКРАСНОГО МЭМС ИЗЛУЧАТЕЛЯ

### OPTIMIZATION OF THE DESIGN OF A MICROHEATING ELEMENT FOR AN INFRARED MEMS EMITTER

**Амеличев В.В.**, к. т. н., **Генералов С.С.**, **Григорьев Д.М.**, **Горелов Д.В.**, **Никифоров С.В.**,  
НПК «Технологический центр»; +7 (499) 720-87-79; v.amelichev@tcen.ru

**Amelichev V.V.**, Ph. D., **Generalov S.S.**, **Grigorev D.M.**, **Gorelov D.V.**, **Nikiforov S.V.**,  
SMC “Technological Centre”; +7 (499) 720-87-79; v.amelichev@tcen.ru

**Аннотация.** Технология микроэлектромеханических систем (далее – МЭМС) широко применяется в различных отраслях, включая электронику, медицину и науку. Одной из областей, в которой МЭМС-технологии демонстрируют свой потенциал, является разработка микронагревателей для инфракрасных (далее – ИК) излучателей. Микронагреватели на основе МЭМС-технологий представляют собой инновационное решение для создания эффективных инфракрасных излучателей. В статье представлены результаты оптимизации конструкции резистивного микронагревателя для инфракрасного излучателя с использованием конечно-элементного моделирования в Ansys Mechanical. Целью оптимизации является повышение эффективности микронагревателя, заключающейся в достижении минимального отклонения между значениями максимальной рабочей (640 °С) и средней по площади температуры микронагревателя. Для получения сравнительного результата проанализировано четыре последовательно оптимизированных конструкции микронагревателей.

**Annotation.** Microelectromechanical systems (MEMS) technology is widely used in various industries, including electronics, medicine and science. One of the areas in which MEMS technologies demonstrate their potential is the development of micro heaters for infrared (IR) emitters. Microheaters based on MEMS technologies are an innovative solution for creating efficient

*infrared radiators. The article presents the results of optimizing the design of a resistive electric heater for an infrared emitter using finite element modeling in Ansys Mechanical. The purpose of optimization is to increase the efficiency of the microheater, which consists in achieving a minimum deviation between the values of the maximum operating temperature (640 °C) and the average area temperature of the microheater. To obtain a comparative result, four sequentially optimized designs of microheaters were analyzed.*

**Ключевые слова:** микронагреватель, метод конечных элементов, температурное распределение, МЭМС-технология, ИК-излучатель.

**Keywords:** microheater, finite element method, temperature distribution, MEMS technology, IR emitter.

## Введение

ИК-источники излучения являются важными компонентами различных приложений, находящие широкое применение в науке и технике. Все источники по принципу работы могут быть разделены на три основные группы: лазерные источники, источники на LED-структурах и тепловые источники. Источники на лазерах и LED-структурах позволяют обеспечивать узкополосное высокоинтенсивное излучения и высокую скорость модуляции, однако мощность излучения таких излучателей ограничена длиной волны 5 мкм, что снижает круг их применения. Помимо этого, для изготовления таких источников требуется технология гетероструктур, что также значительно повышает стоимость конечных изделий.

Самой большой группой ИК-источников является тепловые излучатели, принцип действия которых основан на излучение фотонов при нагреве материала. Широкое распространение получили импульсные источники с микронагревателями на основе нитей накала, в качестве материалов которых используются тугоплавкие металлы (W, Pt, Ni, Cr) и их сплавы (FeCrAl, NiCr), работающие при высоких температурах. Такие ИК-источники обеспечивают стабильность коэффициента излучения и максимальную скорость остывания в импульсном режиме работы. Коэффициент излучения источников на нитях накала достигает ~ 0,9, а диапазон длин волн излучения составляет от 1 до 14 мкм. Несмотря на простую конструкцию ИК-источников на нитях накала, они обладают достаточно большой тепловой массой (инерционностью), что влияет на скорость частотной модуляции.

Другой инновационной подгруппой ИК-источников являются тепловые МЭМС источники. В основе конструкции МЭМС ИК-излучателей лежит тонкая мембрана со сформированным на ней резистивным микронагревателем. Тонкая диэлектрическая мембрана позволяет изолировать область нагрева, тем самым исключить тепловые потери. Микронагреватель, в зависимости от температуры нагрева, обеспечивает излучение в требуемом диапазоне длин волн. Поверх нагревателя наносят черное покрытие, выполненное из материала, обеспечивающего селективность излучаемого спектра [1].

## Основная часть

Основными преимуществами МЭМС ИК-излучателей являются энергоэффективность, быстрый отклик и точный контроль температуры, миниатюрность, долговечность и надежность.



Генералов С.С.



Григорьев Д.М.



Горелов Д.В.



Никифоров С.В.

## Оптимизация конструкции МЭМС ИК-излучателей

Оптимизация конструкции МЭМС ИК-излучателей является важным шагом для достижения максимальной эффективности и производительности устройства. Ниже представлены некоторые аспекты оптимизации, которые следует учитывать при разработке:

1. **Материалы:** материалы должны обладать высокой термической проводимостью, чтобы обеспечить эффективный теплообмен, а также хорошей механической прочностью. К примеру, материалы, такие как Si, SiO<sub>2</sub> или SiC, часто используются для создания МЭМС ИК-излучателей.

2. **Дизайн:** оптимизация геометрии и структуры элементов резистивного микронагревателя.

3. **Управление тепловыми потоками:** оптимизация управления тепловыми потоками является ключевым аспектом проектирования МЭМС ИК-излучателей. Данный этап заключается в подборе теплоизолирующих материалов или структур (рефлекторов), которые помогут сосредоточить и направить тепловой поток в нужном направлении.

4. **Регулирование температуры:** возможность регулирования температуры является важным этапом проектирования МЭМС ИК-излучателей. Данная регулировка может быть достигнута путем использования различных методов контроля тока и напряжения, а также внедрения



датчиков температуры для обратной связи и точного контроля нагрева.

5. Интеграция с другими компонентами: оптимизация интеграции МЭМС-микронагревателя с другими компонентами инфракрасного излучателя также является важным аспектом. Например, интеграция с оптическими элементами, такими как линзы или зеркала, может улучшить фокусировку и направленность инфракрасного излучения.

В настоящей работе речь пойдет об оптимизации конструкции резистивного микронагревателя с использованием метода конечных элементов (далее – МКЭ).

### Оптимизация конструкции микронагревателя с использованием МКЭ

Анализ открытых источников подтверждает необходимость оптимизации конструкции микронагревателя для достижения эффективного нагрева. В работах [2, 3] обобщены результаты разработок в области проектирова-

ния и изготовления микронагревателей общего и специального назначения. Оптимизация геометрических размеров элементов микронагревателя и его структуры играет ключевую роль в повышении его эффективности. За счет высокой равномерности температуры нагрева улучшается теплопередача и минимизируются потери энергии. Исключение концентраторов механических напряжений, вызванных локальными областями перегрева микронагревателя, предотвращает разрушение мембраны. Все это ведет к более эффективному использованию энергии и повышению надежности микронагревателя.

Оптимизация конструкции микронагревателя для инфракрасного излучателя проводилась путем расчета температурного распределения при резистивном нагреве. При этом основной задачей ставилось достижение высокой однородности средней температуры. В качестве исходных данных для построения собственной модели микронагревателя определены следующие характеристики, представленные ниже в таблице 1.

Таблица 1

Исходные данные для построения модели микронагревателя

№ п/п	Наименование характеристики	Значение
1	Материал микронагревателя	Платина (Pt)
2	Толщина Pt	0,4 мкм
3	Удельное сопротивление Pt	$2,4 \cdot 10^{-7}$ Ом•м
4	Сопротивление микронагревателя	(30±5) Ом
5	Рабочая температура разогрева	(640±20) °С
6	Диаметр области нагрева	2405 мкм
7	Диапазон напряжений питания	(1÷5) В
8	Удельное сопротивление воздуха	$10^{15} \cdot 10^{18}$ Ом•м
9	Теплопроводность воздуха	0,022 Вт/(м•К)

Для расчета температурного распределения при резистивном нагреве микронагревателя использовался программный комплекс ANSYS Mechanical. Для этого в модуле Thermal-Electric создавалась трехмерная модель, состоящая из модели резистивного микронагревателя и модели воздуха. В модели не учитывалась диэлектрическая мембрана и кремниевая рамка кристалла. Далее, для выводов микронагревателя задавались граничные условия типа VOLTAGE (напряжение) в диапазоне от 1 до 5 В. На удаленных от нагревателя границах воздуха задавалось граничное условие «температура»  $T = 22$  °С.

Результатом моделирования являлись:

- зависимости максимальной температуры микронагревателя и его средней температуры в рабочей зоне, диаметром 2,4 мм, от напряжения в диапазоне от 1 до 5 В;
- двухмерное распределение температуры в рабочей области при нагреве 640 °С;
- разница между максимальной и средней (по площади рабочей зоны) температурами, характеризующая равномерность температурного распределения.

Для каждой трехмерной модели микронагревателя проводился расчет сопротивления. В случае несоответ-

ствия заданного сопротивления (30 ± 5) Ом модель корректировалась. Для расчета сопротивления микронагревателя использовался модуль Electric Ansys Mechanical. К первому выводу модели микронагревателя задавалось граничное условие «напряжение» (VOLTAGE) со значением 0 В, ко второму выводу задавалось граничное условие «ток» (CURRENT) равное 1 А. Далее проводился расчет напряжения на втором выводе. Таким образом, сопротивление микронагревателя равнялось отношению рассчитанного напряжения на втором выводе к приложенному ко второму выводу току (1 А).

На рис. 1 изображена исходная конструкция (вариант № 1) микронагревателя с обозначенными ключевыми размерами.

Конструкция представляет собой эквивалентное соединение четырех резисторов в виде радиальных меандров с шириной проводника 130 мкм и шириной зазора между ними 65 мкм. Резисторы соединены в параллельно-последовательную схему. Такая схема соединения позволяет добиться требуемого сопротивления при использовании достаточно узких проводников. В центральной части расположен диск радиусом 227,5 мкм.

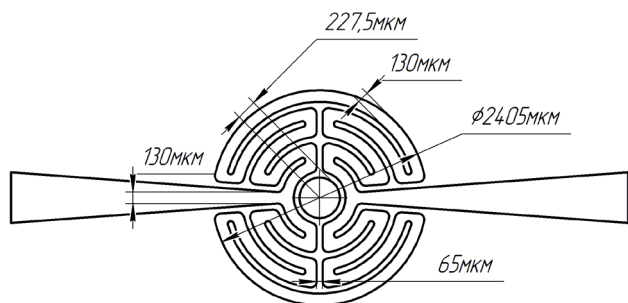


Рис. 1. Исходная конструкция микронагревателя (вариант № 1)

На рис. 2 представлен результат расчета температурного распределения, разогретого до рабочей температуры микронагревателя ( $640,86\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Рассчитанное сопротивление микронагревателя (вариант № 1) составило  $34,8\text{ }\Omega$ . На рис. 3 изображена зависимость максимальной и средней по площади температуры микронагревателя от приложенного напряжения ( $1 - 5\text{ В}$ ). На полученном температурном распределении видно, что область максимального нагрева находится в узкой части входного и выходного выводов микронагревателя шириной  $130\text{ }\mu\text{м}$ , а минимальная – внешняя область проводников последовательно соединенных меандров. Разность между максимальной рабочей температурой ( $640,86\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и средней по площади температурой ( $477,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) составила  $163,71\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

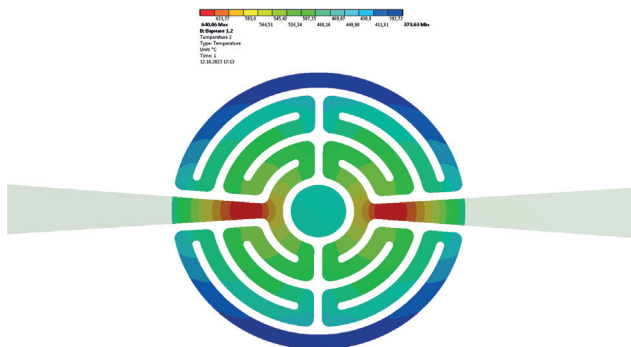


Рис. 2. Температурное распределение микронагревателя (вариант № 1)

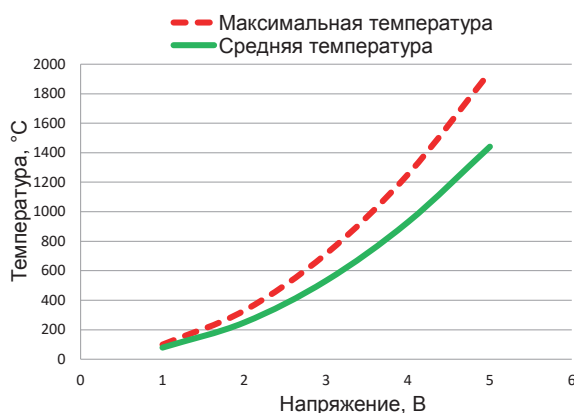


Рис. 3. Зависимость максимальной и средней по площади температуры микронагревателя 1-го конструктивного варианта (вариант № 1)

На рис. 4 представлена конструкция микронагревателя 2-го конструктивного варианта (вариант № 2), оптимизированная после первой итерации.

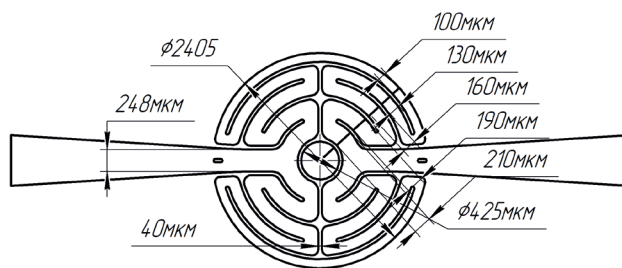


Рис. 4. Конструкция микронагревателя 2-го конструктивного варианта, оптимизированная после первой итерации (вариант № 2).

Конструкция представляет собой соединение четырех резисторов в виде радиальных меандров с уменьшаемой в сторону увеличения радиуса микронагревателя шириной проводников от  $210\text{ }\mu\text{м}$  до  $100\text{ }\mu\text{м}$ . Ширина зазора между проводниками уменьшена до  $40\text{ }\mu\text{м}$ . Диаметр диска в центре составил  $425\text{ }\mu\text{м}$ . Ширина проводников в области входного и выходного выводов микронагревателя увеличена до  $248\text{ }\mu\text{м}$ .

На рис. 5 представлен результат расчета температурного распределения, разогретого до рабочей температуры ( $640,74\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Рассчитанное сопротивление микронагревателя (вариант № 2) составило  $32,6\text{ }\Omega$ . На рис. 6 изображена зависимость максимальной и средней по площади температуры от приложенного напряжения ( $1 - 5\text{ В}$ ). На полученном температурном распределении видно, что максимальный нагрев по-прежнему происходит в области входного и выходного выводов микронагревателя, а минимальный в диске в центральной части. Разница между максимальной рабочей температурой ( $640,74\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и средней по площади температурой ( $587,87\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) составила уже  $52,87\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

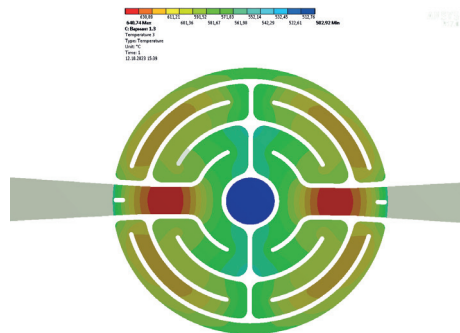


Рис. 5. Температурное распределение микронагревателя (вариант № 2)

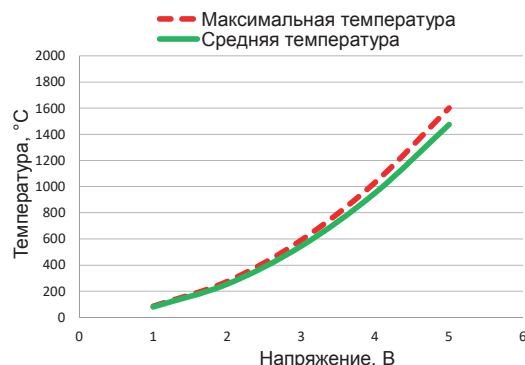


Рис. 6. Зависимость максимальной и средней по площади температуры микронагревателя 2-го конструктивного варианта (вариант № 2)

На рис. 7 представлена конструкция микронагревателя 3-го конструктивного варианта (вариант № 3), оптимизированная после второй итерации. С целью увеличения средней по площади температуры зазор между проводниками резисторов был уменьшен до 10 мкм. Центральный диск был соединен с внутренними проводниками, но из-за увеличения его диаметра до 955 мкм диск был рассечен, как показано на рис. 7.

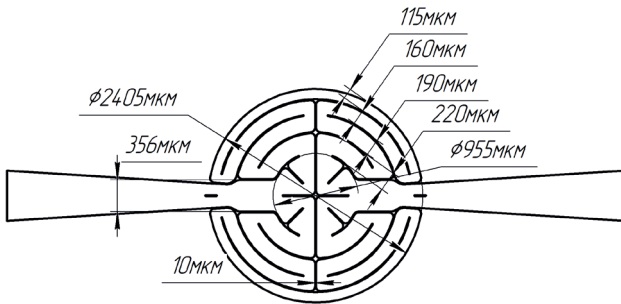


Рис. 7. Конструкция микронагревателя 3-го конструктивного варианта, оптимизированная после второй итерации (вариант № 3).

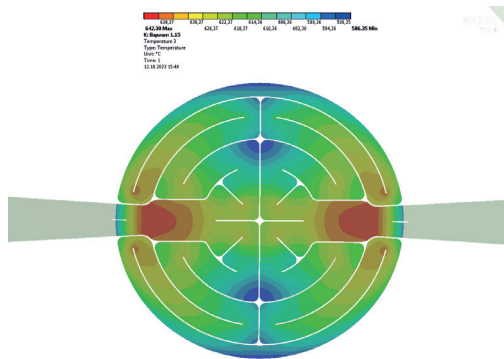


Рис. 8. Температурное распределение микронагревателя (вариант № 3)

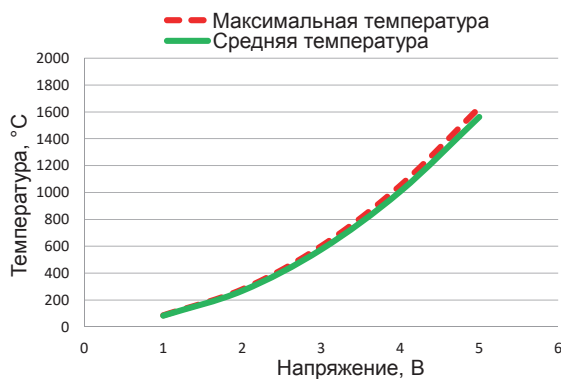


Рис. 9. Зависимость максимальной и средней по площади температуры микронагревателя 3-го конструктивного варианта (вариант № 3)

На рис. 8 представлен результат расчета температурного распределения нагревателя (вариант № 3), разогретого до рабочей температуры (642,38 °C). Рассчитанное сопротивление микронагревателя составило 30,4 Ом. На рис. 9 изображена зависимость максимальной и средней по площади температуры от приложенного напряжения (1 – 5 В).

Использованные конструктивные решения позволили снизить разницу между максимальной рабочей температурой (642,38 °C) и средней по площади температурой

(615,91 °C) до 26,47 °C. Область максимального нагрева по-прежнему расположена в узкой части входного и выходного вывода. Минимальные области нагрева расположены во внешних углах меандров.

Следующая итерация по оптимизации конструкции заключается в детальной проработке ширины проводников в областях максимального и минимального нагрева в соответствии с рис. 8. На рис. 10 представлен заключительный вариант конструкции микронагревателя с ключевыми размерами, рассматриваемый в данной работе.

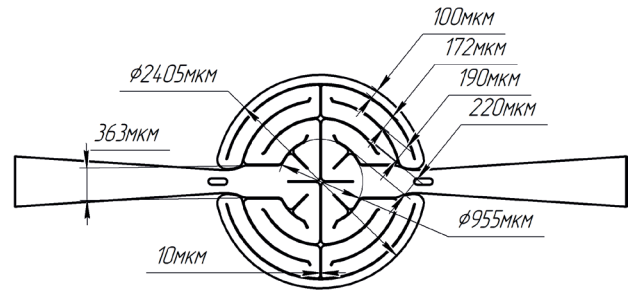


Рис. 10. Конструкция микронагревателя 4-го конструктивного варианта, оптимизированная после третьей итерации (вариант № 4).

Результат расчета температурного распределения, разогретого до рабочей температуры (639,4 °C) показан на рис. 11. Рассчитанное сопротивление микронагревателя (вариант № 4) составило 32,9 Ом. На рис. 12 изображена зависимость максимальной и средней по площади температуры от приложенного напряжения (1 – 5 В).

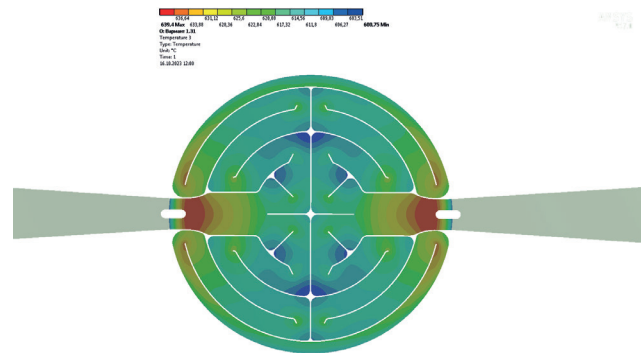


Рис. 11. Температурное распределение микронагревателя (вариант № 4)

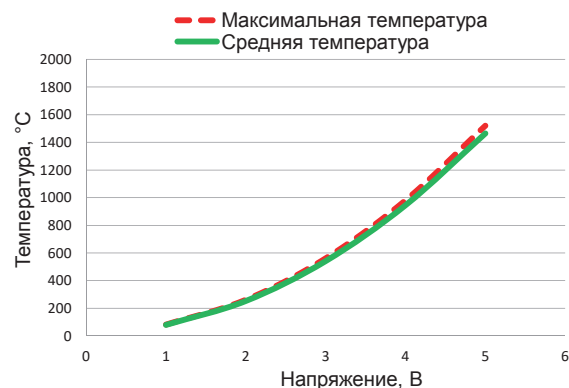


Рис. 12. Зависимость максимальной и средней по площади температуры микронагревателя 4-го конструктивного варианта (вариант № 4)

В результате оптимизации нагревателя разность между максимальной рабочей температурой (639,4 °С) и средней по площади температурой (616,37 °С) составила 23,03 °С.

#### Заключение

В результате итерационного подхода с использованием конечно-элементного моделирования в Ansys Mechanical разработана оригинальная конструкция микронагревателя с диаметром области нагрева 2,4 мм, оптимизация дизайна которой позволила добиться разности между максимальной и средней по площади температур 23,03 °С, что является важным этапом в проектировании ИК-излучателя, обеспечивающего его функциональные и надёжностные характеристики. С увеличением напряжения наблюдается снижение средней по площади температуры микронагревателя.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящая статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской

Федерации в рамках выполнения НИР «Исследования конструктивно-технологических методов создания малоинерционных резистивных ИК-источников излучения в диапазоне длин волн от 1 до 20 мкм», шифр FNRМ-2022-0009.

#### Литература

1. Тарасов А.М., Новиков Д.В., Горелов Д.В., Генералов С.С., Амеличев В.В. Формирование черного алюминия методом вакуум-термического испарения для ИК излучателей // Фотоника, том 17, № 6, 2023, стр. 1-8.
2. Adedokun G. et al. Low power perforated membrane microheater // Sensors and Actuators A: Physical. – 2021. – Т. 322. – С. 112607.
3. Nandini G. Iyer, S. Suganthi, M. Arulmozhi, P. Sivakumar, S. Jeny Sophia. Design and evaluation of micro-heater geometries for MEMS-based ozone gas sensor through a theoretical modeling // Materials today: Proceedings. Volume 66, part 4, 2022, pages 2012-2016.

УДК 621.3

### НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ РАЗРАБОТКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОДУКЦИИ В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ОТРАСЛИ

### SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPROACH TO SOLVING THE PROBLEMS OF DEVELOPING TECHNICAL REQUIREMENTS FOR ELECTRONIC PRODUCTS IN THE RADIOELECTRONIC INDUSTRY

**Булгаков О.Ю.**, к. воен. н., заслуженный работник связи Российской Федерации,  
ФГБУ «ВНИИР»; +7 (985) 725-73-68, bulgakov@vniir-m.ru

**Bulgakov O.Yu.**, Ph.D. of military sciences, honored Worker of Communications of the Russian Federation,  
FSBI "VNIIR"; +7 (985) 725-73-68, bulgakov@vniir-m.ru

**Аннотация.** В представленном материале раскрывается научно-методический подход к решению задач и возникающих противоречий, имеющихся в радиоэлектронной отрасли, в вопросах совершенствования системы управления отраслью, формирования технических требований к выпускаемой электронной продукции, совершенствования нормативно-правовой базы её развития.

**Annotation.** The presented material reveals a scientific and methodological approach to solving problems and emerging contradictions in the radioelectronic industry, in matters of improving the industry's management system, forming technical requirements for manufactured electronic products, and improving the regulatory framework for its development.

**Ключевые слова:** электронная и радиоэлектронная промышленность, радиоэлектронная промышленность, электронная продукция, управление развитием радиоэлектронной промышленности, технические требования к электронной продукции, методы решения.

**Keywords:** electronic and radioelectronic industry, radioelectronic industry, electronic products, management of the development of the radioelectronic industry, technical requirements for electronic products, solution methods.

#### Введение

Как определено в [1], электронная и радиоэлектронная промышленность является отраслью экономики, направленной на решение задач по разработке и производству электронной продукции, радиоэлектронной аппаратуры, программно-аппаратных комплексов, электронных и радиоэлектронных модулей, электронных и радиоэлектронных компонентов, встраиваемого программного обеспечения (далее – электронная продукция), разработкой и



Булгаков О.Ю.

производством технологического, вспомогательного, измерительного и испытательного оборудования, комплекующих изделий и расходных материалов, специальных и особо чистых материалов, газов и веществ, специального прикладного и инструментального программного обеспечения, необходимых для производства электронной и радиоэлектронной аппаратуры, электронных радиоэлектронных компонентов и модулей, а также развитием соответствующих технологий.

Значительная часть организаций радиоэлектронной промышленности является составной частью оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации.

### Основная часть

Электронная и радиоэлектронная промышленность (далее – радиоэлектронная промышленность) относится к высокотехнологичным отраслям экономики, обеспечивающей национальную безопасность Российской Федерации, практическую реализацию научно-технического потенциала и формирование инновационных технологических компетенций в целях решения оборонных и социально-экономических задач государства.

Развитие радиоэлектронной промышленности осуществляется по следующим базовым технологическим направлениям в области разработки компонентов: микроэлектроника, СВЧ-электроника, силовая электроника, оптоэлектроника, пассивная электроника, электротехника. Перспективными направлениями могут считаться радио- и нанофотоника, квантовые технологии.

Результаты проводимых оценок состояния радиоэлектронной промышленности неукоснительно подтверждают наличие множества существующих проблем [2, 3, 4]. С учетом целевых задач настоящей работы к ним можно отнести:

- зависимость процессов создания электронной продукции от иностранных технологий, оборудования, специальных и особо чистых материалов, газов и веществ;
  - отсутствие планомерного развития производственной базы организаций радиоэлектронной промышленности, технологий производства радиоэлектронных компонентов последних поколений, реализация мелкосерийного производства электронной продукции, приводящая к невозможности создания необходимых складских запасов;
  - длительные сроки разработки и постановки на производство новых видов и типов радиоэлектронных компонентов и модулей;
  - недостаточно широкая номенклатура современной отечественной электронной продукции;
  - высокая себестоимость производства отечественных радиоэлектронных компонентов и модулей;
  - отсутствие единой взаимосвязанной системы стандартов и требований к радиоэлектронным компонентам и модулям.
- Наличие этих проблем в основном обусловлено следующими факторами:
- несоответствие проводимых научных исследований

потребностям организаций радиоэлектронной промышленности;

- отсутствие организованной системы подготовки, трудоустройства и сохранения квалифицированных кадров для обеспечения радиоэлектронной промышленности;
- недобросовестная конкуренция со стороны иностранных производителей электронной компонентной базы;
- санкционное давление на Российскую Федерацию в период неблагоприятной экономической конъюнктуры на мировом рынке;
- не высокий уровень доверия потребителей к отечественной электронной продукции;
- отсутствие скоординированной системы управления радиоэлектронной промышленностью в условиях стремительно меняющихся военно-политической и экономической обстановок.

К основным подсистемам, обеспечивающим развитие и совершенствование радиоэлектронной промышленности, в рамках данной работы будут рассмотрены: технология (проектирование и производство электронной продукции), машиностроение (создание и эксплуатация средств производства электронной продукции), материалы (исходное сырьё для производства электронной продукции), метрология (метрологическое обеспечение процесса создания и производства электронной продукции), стандартизация (нормативно-правовая и нормативная база), контроль качества (система менеджмента и система менеджмента качества).

В общем смысле существующая система управления развитием радиоэлектронной промышленностью показывает, что в силу недостаточного соответствия организационной, обеспечивающей и информационной структур, возникают противоречия между возрастающими требованиями к системе управления развитием радиоэлектронной промышленностью, включая электронную продукцию, технологию, управление, цифровизацию всех процессов и несоответствующим состоянием обеспечивающих подсистем (технология, машиностроение, материалы, метрология, стандартизация, контроль качества и другие целевые показатели), нормативно-правовой и нормативной базы в радиоэлектронной промышленности (рис. 1). Разрешение указанных противоречий возможно на основе постановки и решения **актуальной научной задачи** по построению рациональных структур управления, определяющих необходимый уровень управления развитием радиоэлектронной промышленности и её обеспечивающих подсистем.

Детализируя общий подход к решению стоящей задачи можно отметить, что входящие в систему управления развитием радиоэлектронной промышленности, функционирующие в данной сфере подсистемы (технология, машиностроение, материалы, метрология, стандартизация, подтверждение качества и целевые функции), в настоящий момент отсутствует корреляция с научными, технологическими обоснованиями перспектив развития радиоэлектронной промышленности, направленных на достижения технологической независимости и суверенитета, обеспечения стабильного развития и создание новой радиоэлектронной продукции в конкуренции с импортной.

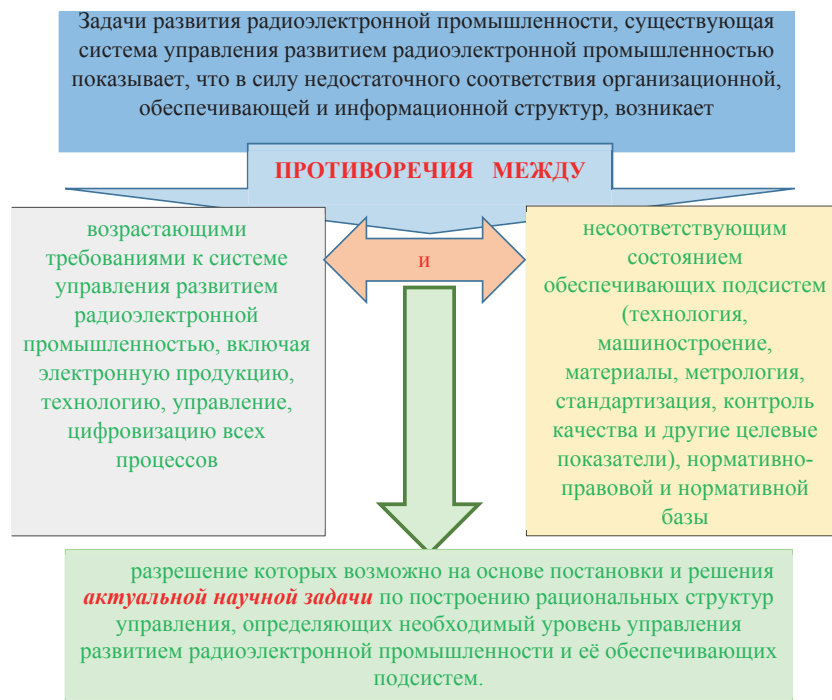


Рис. 1. Противоречия между возрастающими требованиями к системе управления развитием радиоэлектронной промышленностью, включая электронную продукцию, технологию, управление, цифровизацию всех процессов и несоответствующим состоянием обеспечивающих подсистем

Разрешение данного противоречия, на наш взгляд, возможно осуществить путём решения **актуальной научной задачи**, вербальная постановка которой может быть сформулирована следующим образом:

«На основе анализа существующего состояния радиоэлектронной промышленности, структуры управления её развитием ( $g$ ), развитием её обеспечивающих подсистем, с учётом целевых требований к построению и развитию **разработать** научно-методический подход к обоснованию построения элементов системы, обеспечивающих формирование технических требований к электронной продукции, процессам ее производства ( $W$ ), для включения в модернизацию отраслевой системы стандартов на электронную продукцию в соответствии с существующими и перспективными международными требованиями к продукции, технологиям, организационным процессам, а также соответствующие рекомендации должностным лицам по управлению эффективным функционированием обеспечивающих эту деятельность подсистем (направлений)».

В общем случае, основываясь на подходах, изложенных в [5], формальная постановка задачи по разработке технических требований к электронной продукции и процессам ее производства для включения в модернизацию отраслевой системы стандартов на электронную продукцию в соответствии с существующими и перспективными международными требованиями к продукции, технологиям, организационным процессам, может быть сформулирована следующим образом:

«Для заданных исходных данных **и целевых показателей**  $I \{T, Q, P, L, M, S, K, N\}$  разработать научно-методический аппарат (подход) обоснования состава структуры системы управления развитием радиоэлектронной промышленности  $g^*$ , **компетентность которой позволяет** определять технические требования к электронной продук-

ции и процессам ее производства, а также соответствующие рекомендации должностным лицам  $r$  по управлению и обеспечению эффективного функционирования данных подсистем, при которых:

$$W(I, g^*, r) \geq W_n \gg,$$

где  $T$  – требования к **целевым показателям** системы управления развитием радиоэлектронной промышленностью;

$Q$  – технология производства радиоэлектронной продукции;

$P$  – машиностроение (система обеспечения средствами производства);

$L$  – материалы для изготовления радиоэлектронной продукции;

$M$  – система метрологического обеспечения;

$S$  – система стандартизации в радиоэлектронной промышленности;

$K$  – система обеспечения качества ЭКБ в радиоэлектронной промышленности;

$N$  – другие подсистемы (направления);

$g$  – существующая структура управления развитием радиоэлектронной отраслью;

$g^*$  – рациональная структура управления развитием радиоэлектронной отраслью;

$r$  – рекомендации должностным лицам по совершенствованию организации управления развитием радиоэлектронной промышленностью и эффективным функционированием обеспечивающих эту деятельность подсистем;

$W$  – заданные технические требования к электронной продукции и процессам ее производства для включения в модернизацию отраслевой системы стандартов на электронную продукцию в соответствии с существующими и перспективными международными тре-

бованиями к продукции, технологиям, организационным процессам;

$W_n$  – необходимые (желаемые) технические требования к электронной продукции и процессам ее производства для включения в модернизацию отраслевой системы стандартов на электронную продукцию в соответствии с существующими и перспективными международными требованиями к продукции, технологиям, организационным процессам.

В конечном итоге научно-методический подход к обоснованию построения элементов системы, обеспечивающих формирование технических требований к электронной продукции, с учётом безусловного их развития, можно представить в следующем виде (рис. 2).

Применяя изложенные научные подходы к решению подобных задач, дальнейшие действия по применению методических подходов (методы решения) к решению поставленных задач целесообразно будет осуществлять с применением известных методов: **метод опроса, метод индукции (метод обобщения)** (обобщение выявленных фактов (отдельных случаев) к общему положению), **гипотетический метод** (способ исследования с помощью научной гипотезы, т. е. предположения о причине, которая вызывает данное следствие), метод исследования данных и **метод экспертной оценки** полученных результатов для решения актуальной научной задачи.

Реализация в ходе решения научной задачи метода

опроса позволит осуществить сбор и обработку данных опроса с дальнейшим сопоставлением их с ранее сформулированными и предполагаемыми гипотезами, а также выдвижение и проверку новых гипотез. В ходе исследования гипотез должны проверяться и сопоставлялись ранее выдвинутые утверждения с полученными количественными характеристиками.

Для уточнения, конкретизации, углубления полученных выводов, проверки их истинности и адекватного соответствия объективной реальности применяются следующие приемы:

- 1) соотнесение полученных практических выводов с теоретическими прогнозами и предположениями;
- 2) сравнение полученных выводов с результатами подобных, ранее проводившихся мероприятий;
- 3) анализ опыта, накопленного практикой в сфере разрешения противоречий на аналогичных объектах исследования;
- 4) использование в качестве «критерия истинности» коллективного опыта, знаний, накопленных исследователями (коллегами, участвующими в исследовании);
- 5) сопоставление знаний экспертов (специалистов, компетентных в исследуемых вопросах) с выводами, полученными в результате исследования;
- 6) проверка выводов с помощью дополнительных (контрольных) исследований;
- 7) другие приёмы.



Рис. 2. Научно-методический подход к обоснованию построения элементов системы, обеспечивающих формирование технических требований к электронной продукции

В зависимости от объема и состояния собранных данных, их анализ может быть различной глубины, проводится на различных аналитических уровнях, что обеспечит выделение трёх уровней анализа информации:

- 1) описание;
- 2) объяснение;
- 3) эксперимент.

В процессе **описания** предполагается выделение признаков исследуемого явления, существенных (необходимых) для подтверждения ранее сформулированных описательных гипотез или для выдвижения новых. В описательном анализе информация упорядочивается, становится доступной для выводов или дальнейшего анализа.

В ходе **объяснения** эмпирической информации проводится ее сопоставление с теоретическими выводами, практическим опытом разрешения конкретных противоречий. На этой основе углубляется понимание сущности объекта исследования, выявляются внутренние и внешние факторы, влияющие на его функционирование, выясняется характер и тенденции этого взаимодействия, определяются связи данного процесса с объективными закономерностями развития.

Самым «сильным» способом проникновения в сущность объекта исследования является **эксперимент**, предполагающий искусственное введение экспериментального фактора в исследуемые процессы с целью ускорить их динамику или сделать более рельефными, удобными для наблюдения. На этой основе формулируются выводы, делаются практические рекомендации.

Среди различных уровней анализа в практике исследований социальной работы чаще используются объяснительный и описательный варианты. Эксперименты применяются реже из-за необходимости проведения трудоемких исследовательских работ, что неизбежно связано со значительным увеличением материальных затрат, а также интеллектуальных усилий исследователя. И то, и другое часто ограничено определенными рамками.

Применяя в ходе выполнения работы метода **обобщения**, как научного познания, выстраивается логический процесс перехода от единичного к общему, от менее общего к более общему знанию, определяются общие свойства и признаки и как результат всего этого – собственно обобщений полученной информации, знаний. Полученные обобщённые знания позволяют более глубоко отразить действительность, проникнуть в её сущность.

Метод **экспертной оценки** заключается в проведении экспертами интуитивно-логического анализа проблемы с количественной оценкой суждений и формальной обработкой результатов. Получаемое в результате обработки обобщенное мнение экспертов принимается как решение проблемы. Комплексное использование интуиции (неосознанного мышления), логического мышления и количественных оценок с их формальной обработкой позволяет получить эффективное решение проблемы.

Метод **экспертной оценки представляет собой** организационные, логические и математико-статистические процедуры, направленные на получение от специалистов

необходимой информации, ее анализ и обобщение с целью подготовки и выбора рациональных решений.

Достижения поставленных целей и задач приоритетных направлений реализации государственной политики в области развития электронной и радиоэлектронной промышленности [1] должны решаться в следующих направлениях:

- единства системы управления развитием электронной и радиоэлектронной промышленности;
- координации всех видов работ от поисковых научных исследований до внедрения и эксплуатации электронной и радиоэлектронной аппаратуры;
- формирования требований к радиоэлектронной продукции;
- создания организационных, правовых и экономических условий, стимулирующих разработку, производство и сбыт отечественной электронной продукции.

Для решения поставленных задач по разработке технических требований к электронной продукции в радиоэлектронной отрасли должны разрабатываться и применяться методический аппарат, формулируемый в таких методиках как:

- порядок и проведение анкетирования организаций, осуществляющих деятельность в сфере радиоэлектронной промышленности;
- организация и проведение исследований основных положений, понятий действующей системы стандартизации и направлений совершенствования действующей системы стандартизации;
- порядок исследования цикла управления документами по стандартизации с описанием его функций и видов, в зависимости от объектов и аспектов стандартизации;
- проведение прикладных поисковых исследований по классификации и техническим характеристикам ЭКБ и анализ выполнения требований документов по стандартизации по классификации и техническим характеристикам ЭКБ.

### Заключение

Таким образом, с учётом вышеизложенного, представляется возможным при заданных исходных данных и целевых показателей  $I \{T, Q, P, L, M, S, K, N\}$  разработать научно-методический аппарат (подход) обоснования состава структуры системы управления развитием радиоэлектронной промышленности  $g^*$ , компетентность которой позволяет определять технические требования к электронной продукции и процессам ее производства, а также соответствующие рекомендации должностным лицам  $r$  по управлению и обеспечению эффективного функционирования обеспечивающих подсистем.

При реализации предлагаемого научно-методического подхода при решении задач разработки технических требований к электронной продукции в радиоэлектронной отрасли появляется обоснованная возможность формирования необходимых (желаемых) технических требований к электронной продукции и процессам ее производства для включения в модернизацию отраслевой системы стандартов на электронную продукцию в соответствии с существующими и перспективными международными требованиями к продукции, технологиям, организационным процессам.



**Литература**

1. Основы государственной политики Российской Федерации в области развития электронной и радиоэлектронной промышленности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу. Указ Президента Российской Федерации от 2023 г.
2. Федеральный закон от 29.06.2015 № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации».
3. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17.01.2020 № 20-р «Об утверждении Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года и плана мероприятий по реализации Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года».
4. Приказ Росстандарта от 21.06.2021 № 1061 «Об определении Порядка и условий применения международных стандартов, региональных стандартов, межгосударственных стандартов и региональных сводов правил, а также стандартов иностранных государств и сводов правил иностранных государств».
5. Ларин А.А. Теоретические основы управления. ч. 1. Процессы и системы управления. М.: ВАД, 1995. 248 с.

УДК 47.14.07

**УНИВЕРСАЛИЗАЦИЯ МИКРОСХЕМ НИЗКОЙ СТЕПЕНИ ИНТЕГРАЦИИ ПРИ ПЕРЕНОСЕ  
ИХ ПРОИЗВОДСТВА НА СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НОРМЫ**

**UNIVERSALIZATION OF LOW-DEGREE INTEGRATION MICROCIRCUITS WHEN TRANSFERING  
THEIR PRODUCTION TO MODERN TECHNOLOGICAL STANDARDS**

**Денисов А.Н.**, к. т. н., **Козлов В.В.**, **Коняхин В.В.**, НПК «Технологический центр»,  
+7 (499) 720-87-93, +7 (499) 736-95-23, +7 (499) 720-89-92, kovcheg@tcen.ru

**Denisov A.N.**, Candidate of Technical Sciences, **Kozlov V.V.**, **Konyakhin V.V.**, Scientific-Manufacturing Complex «Technological Center», +7 (499) 720-87-93, +7 (499) 736-95-23, +7 (499) 720-89-92, kovcheg@tcen.ru

**Аннотация.** На примере универсализации микросхем стандартной логики низкой степени интеграции показаны преимущества перевода их производства на современные технологические нормы. Представлен метод унификации производства микросхем стандартной логики, выпускаемых АО «Микрон» на пластинах 100 мм, опирающийся на применение многофункциональных базовых кристаллов, разработанных по современным технологическим нормам 180 нм для производства на пластинах 200 мм. Разработаны два типа многофункциональных базовых кристаллов с конструкцией «море вентиляей» для замены микросхем в 14-выводных и 16-выводных корпусах.

**Annotation.** Using the example of universalization of standard logic microcircuits with a low degree of integration are shown the advantages of transferring their production to modern technological standards. A method is presented for unifying the production of standard logic chips produced by Mikron JSC on 100 mm silicon wafers, based on the use of multifunctional base crystals developed according to modern 180 nm technological standards for production on 200 mm silicon wafers. Two types of multifunctional base crystals with a “sea of gates” design have been developed to replace microcircuits in 14-pin and 16-pin packages.

**Ключевые слова:** микросхема, многофункциональный базовый кристалл, МБК.

**Keywords:** Integrated circuit, Uncommitted Logic Array, ULA.

**Введение**

Микросхемы малой степени интеграции по-прежнему являются востребованными. Для обеспечения их поставок приходится поддерживать не только устаревшие технологии, но и производства. При этом проявляется проблема постепенного удорожания фотошаблонов, оборудования и материалов для устаревших производств, вызванная критическим устареванием как самих производств, так и всей цепочки их поставок, включая фотошаблоны, пластины, материалы и оборудование. В связи с этим, крупнейший российский производитель микроэлектроники АО «Микрон» и НПК «Технологический центр», при финансовой



Денисов А.Н.



Козлов В.В.



Коняхин В.В.

поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках постановления Правительства Российской Федерации от 09.04.2010 № 218 по Соглашению № 075-11-2021-064 от 24 июня 2021 г., выполняют проект, направленный на перевод изготовления микросхем, выпускаемых с 1980-х годов, на современное производство на пластинах 200 мм.

### Основная часть

Для обеспечения универсализации выпуска микросхем малой степени интеграции было предложено использовать многофункциональный базовый кристалл (далее – МБК), объединяющий в себе функции заменяемых микросхем. Разработка МБК была выполнена в базе технологии кремний на изоляторе (далее – КНИ) с

технологическими нормами 180 нм. Данная технология позволяет реализовать микросхемы с напряжением питания  $5 В \pm 10 \%$ , что соответствует напряжению питания заменяемых микросхем. Наибольшая сложность состояла в достижении одинаковых динамических характеристик новых и заменяемых микросхем, т. к. быстродействие современной технологии значительно превышает динамические характеристики прототипов. С этой целью в состав МБК были введены управляемые линии задержки (рис. 1), позволяющие в достаточно широком диапазоне настраивать собственное время задержки микросхемы при реализации необходимой функции. Для подбора времени задержки были выполнены измерения динамических параметров прототипов, серийно выпускаемых АО «Микрон».



Рис. 1. Структурная схема МБК

При проведении анализа заменяемых микросхем было установлено, что наибольшее количество типонаименований микросхем стандартной логики, серийно производимых АО «Микрон», имеют 14 и 16 выводов. Для их замены были разработаны МБК двух типов: МБК первого типа реализует 95 функций аналогов, имеет 14 внешних выходов; МБК второго типа – 146 функций аналогов, имеет 16 внешних выводов. МБК реализуют следующий функционал:

- Мультиплексоры / демультиплексоры;
- Логические элементы;
- Коммутаторы;
- Триггеры;
- Регистры;
- Счетчики;
- Сумматоры;
- Шифраторы / Дешифраторы;
- Арифметико-логические устройства.

Разрабатываемые МБК представляют собой цифровые базовые кристаллы, логические функции которых формируются физически, путём нанесения маски соединений

двух слоев металлизации. Конструкция МБК построена традиционно: в поле МБК реализованы функции заменяемых прототипов, а унифицированные периферийные ячейки, расположенные вокруг поля, обеспечивают подключение к внешним выводам микросхемы.

Рассмотрим особенности конструкции базовых кристаллов на примере МБК 2 типа. Базовая ячейка поля МБК реализована в виде 4-х транзисторной ячейки с объединенными затворами в комплементарных парах транзисторов (рис. 2) и имеет следующие особенности:

- 1) ячейка симметрична относительно пар комплементарных транзисторов;
- 2) размеры транзисторов минимизированы с учетом выполнения правил проектирования;
- 3) конструкция ячейки разработана с учетом разводки ячеек;
- 4) шины подключения ячейки к источникам питания («Земля» и «Питание») удовлетворяют требованиям ОСТ В 11 0998.

Конструкция ячейки разработана с учетом правил проектирования завода-изготовителя АО «Микрон».

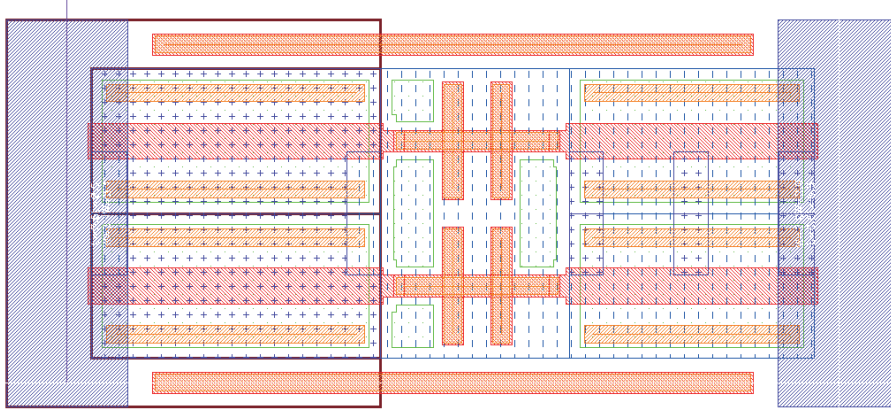


Рис. 2. Конструкция базовой 4-х транзисторной ячейки поля МБК 2 типа

Конструкция базовой ячейки поля МБК позволяет реализовать в поле архитектуру «море вентиляей», удовлетворяющую критерию максимальной разводимости, как на уровне библиотечных элементов, так с точки зрения трассировки.

Унифицированная периферийная ячейка «входа/выхода» МБК включает в себя контактную площадку размером

100×100 мкм, элементы защиты от воздействия электростатического напряжения, входные каскады, включая триггер Шмитта с управляемым гистерезисом, выходные транзисторы с управляемыми значениями тока нагрузки от 2 до 20 мА и длительности фронта от 0,5 до 1,5 нс. Конструкция унифицированной периферийной ячейки МБК 2 типа представлена на рис. 3.

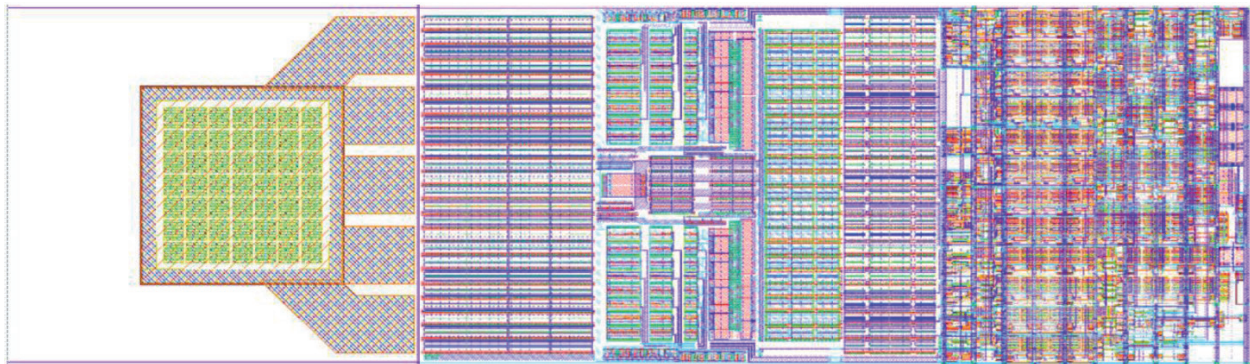


Рис. 3. Конструкция унифицированной периферийной ячейки МБК 2 типа

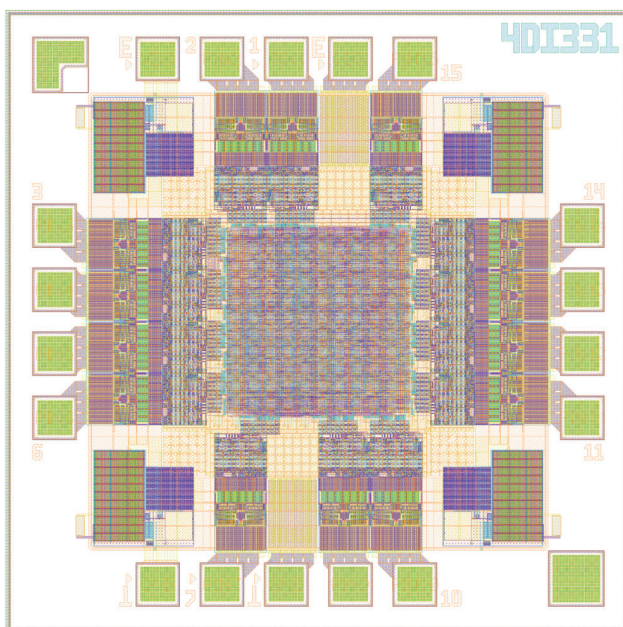


Рис. 4. Конструкция МБК 2 типа (16 выводов)

При разработке конструкции МБК учитывалось расположение выводов заменяемых микросхем. Для обеспечения возможности реализации всех требуемых прототипов в конструкцию МБК 2 типа были введены дополнительные контакты «Земля» и «Питание» (рис. 4).

При разработке МБК решалась задача минимизации площади кристаллов. Основные характеристики МБК приведены в таблице 1. Полученная площадь кристаллов МБК 1-го и 2-го типов является приемлемой для серийного производства и обеспечивает экономическую целесообразность перехода на использование МБК для организации серийного выпуска микросхем. Оценка экономической эффективности унификации выпуска микросхем стандартной логики с применением МБК с технологическими нормами 180 нм по цене кристалла составляет около 20 %. При этом полностью воспроизведены технические характеристики и назначение микросхем, серийно производимых АО «Микрон», и осуществлено полнофункциональное замещение устаревших компонентов.

Основные характеристики МБК

Тип МБК	Объём поля МБК, не менее, условных вентиляей	Площадь кристалла, мм	Количество внешних выводов, шт.	Тип корпуса	Диапазон напряжения питания, В
МБК 1 типа	3 000	1,5×1,65	14	401.14	4,5 – 5,5
МБК 2 типа	5 000	1,65×1,65	16	402.16	

При проектировании конкретных типов микросхем был достигнут компромисс между функциональной гибкостью и простотой реализации МБК за счет применения способа выбора функции с помощью коммутаторов, которыми являются наборы проводников в верхнем слое металлизации. Коммутаторы обеспечивают электрическую связь внешних выводов с требуемой функцией и с линиями задержки. В состав коммутаторов также входят проводники, обеспечивающие блокировку всех оставшихся функций, входящих в состав МБК.

Для реализации каждого типа микросхемы формируется уникальный шаблон второго слоя металлизации, с помощью которого выполняется изготовление данной микросхемы с использованием пластин МБК 1 или 2 типа. Такой способ является достаточно простым и наиболее надёжным.

#### Заключение

Применение многофункциональных базовых кристаллов позволило заменить две группы микросхем малой степени интеграции (95 типов 14 выводных и 146 типов 16 выводных микросхем), выпускаемых АО «Микрон» на уста-

решем оборудовании, на 2 типа МБК, ориентированных на современное производство на 200 мм пластинах.

#### Литература

1. Абагян К., Денисов А. «Универсализация микросхем логики через повышение степени интеграции». Современная электроника, 2012, 2, стр. 48-51.
2. Коновалов В., Коняхин В., Бражников С. «Современные микросхемы малой степени интеграции для аппаратуры космического назначения», 2017, 8 (70), стр. 32-38.
3. Денисов А.Н. Методология проектирования аппаратуры по технологии БМК-ПЛИС-БМК // Известия ВУЗов. Электроника, № 5, 2009, стр.85-86.
4. Басаев А.С., Денисов А.Н., Коняхин В.В., Мальцев П.П. Методология проектирования радиационно-стойких микросхем на основе БМК для космических аппаратов – Материалы III Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем – 2008», (МЭС-2008). – п. Истра, 12-16 октября 2008 г., 8 с.

УДК 004.93'1

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ВИЗУАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА  
ИЗДЕЛИЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ МЕТОДОМ СРАВНЕНИЯ ШАБЛОНОВ**

**AUTOMATED VISUAL QUALITY CONTROL  
OF MICROELECTRONICS PRODUCTS BY TEMPLATE MATCHING METHOD**

**Рубцов Ю.В., Малышев В.Э., Назаренко А.А.**, АО «ЦКБ «Дейтон»; +7 (926) 009-37-00, rubtsov@deyton.ru

**Rubtsov Yu.V., Malyshev V.E., Nazarenko A.A.**, JSC "Central Design Office "Deyton"; +7 (926) 009-37-00, rubtsov@deyton.ru

**Аннотация:** Данная статья посвящена применению метода сравнения шаблонов для обеспечения контроля качества изделий микроэлектроники. В микроэлектронной промышленности, любой дефект или неисправность корпуса интегральной микросхемы может привести к катастрофическим последствиям, поэтому предприятия, изготавливающие данные изделия, должны быть уверены в том, что дефект в изделии будет обнаружен. Существует множество методов выявления дефектов, которые применяются в электронной промышленности, однако метод сравнения шаблонов является одним из наиболее простых и эффективных методов автоматизированного обнаружения и классификации дефектов с высокой точностью. Выявление и разделение исправных и дефектных изделий при помощи данного метода позволило бы сократить время, требуемое для контроля качества и обеспечить более высокую надежность выявления дефектов и устранения причин дефектов.

**Annotation:** This article is dedicated to the application of template matching method for quality control in microelectronics manufacturing. In the microelectronics industry, any defect or malfunction in the integrated circuit casing can lead to catastrophic consequences, so companies manufacturing these products must be confident that defective or damaged items will be detected. There are many defect detection methods that have been used in the electronics industry in the past, however, the template

*matching method is one of the simplest and most effective ways to detect and classify objects with high accuracy. Detecting and segregating functional and defective products using this method would reduce the time required for quality control and ensure a higher reliability of defect detection.*

**Ключевые слова:** метод сравнения шаблонов, обнаружение (определение, идентификация) дефектов, автоматизированный визуальный контроль, компьютерное зрение.

**Keywords:** template matching method, defect detection, automated visual control, computer vision.

## Введение

Реализация визуального контроля качества изделий, который был бы одновременно быстрым и надежным, остается сложной задачей. Одним из доступных методов в выявлении дефектов является сравнение шаблонов. Этот метод включает в себя сравнение шаблонного изображения с входным изображением для выявления сходств. Сопоставление шаблонов для выявления дефектов в продукции микроэлектроники позволяет оптимизировать процесс контроля, значительно сокращая зависимость от человеческих ресурсов и обеспечивая последовательный и точный процесс идентификации дефектов. Предложенный метод включает в себя ряд отдельных этапов: преобразование цветного изображения в черно-белое, сегментацию и фильтрацию изображения, а также нормализованную кросс-корреляцию.

Оценка предложенного метода обнаружения дефектов проводится по двум критериям: затрачиваемое время и точность определения. Затраченное на контроль каждого изображения изделия время было замерено для оценки эффективности системы. Однако наиболее важным критерием является точность определения, показывающая то, насколько правильно система способна идентифицировать дефекты, сводя к минимуму ложные результаты.

## Основная часть

### Конвертация изображения из цветного в черно-белое

Существует множество форматов изображений, наиболее популярными из которых являются RGB, BGR, CMYK и другие. Для нашей работы был выбран формат RGB исходя из того, что он самый доступный для получения и удобный для проведения дальнейших преобразований в черно-белый цвет.

Конвертация изображения из формата RGB в черно-белое является ключевым этапом подготовки изображения для визуального контроля методом сравнения шаблонов. Данное преобразование направлено на трансформацию цветного изображения, обычно представленного тремя цветовыми каналами (красный, зеленый, синий), в изображение, содержащее только один канал яркости на пиксель. В этом процессе используется относительная яркость каждого пикселя для получения оттенка серого, который точно отражает уровень яркости пикселей в исходном цветном изображении [1]. Черно-белые изображения упрощают обработку и анализ данных, что позволяет эффективно вычислять особенности изображений по шаблонам без необходимости работы с несколькими цифровыми каналами.



Рубцов Ю.В.

Мальшев В.Э.

Назаренко А.А.

### Сегментация изображения

Сегментация – этап в обработке изображения, направленный на разделение снимка на отдельные значимые области или объекты. Этот процесс играет важную роль в упрощении анализа изображений и обеспечении обработки конкретных компонентов изображения. Существует несколько подходов к сегментации: семантический, основанный на экземпляре и паноптический, объединяющий в себе два предыдущих метода. Поскольку нам не требуется конкретное определение каждого объекта, а достаточно лишь определить область их нахождения, наиболее эффективным подходом для определения дефектов методом наложения шаблонов является семантический подход. При сегментации изображения пиксели классифицируются по группам на основе их интенсивных значений и пространственных свойств [2].

### Фильтрация изображения

Целью фильтрации изображения является изменение значений его пикселей на основе заранее определенных заданных операций или математических ядер. Данный процесс призван устранить такие дефекты изображения как шум, засвечивание отдельных областей, потеря контрастности и другие. Для этого был использован фильтр Гаусса, предназначенный для сглаживания неравномерного значения пикселей изображения путем обрезания самых высоких значений, что в конечном итоге серьезно улучшает визуализацию важных деталей изображения и его качество в целом. Фильтр Гаусса можно представить в виде математической формулы:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}},$$

где  $G(x, y)$  – значение ядра фильтра Гаусса в точке  $(x, y)$ ;  
 $\sigma$  – параметр, определяющий степень размытия.

### Нормализованная кросс-корреляция

Нормализованная кросс-корреляция – технология, широко применяемая в обработке изображений и компьютерном зрении для сопоставления шаблонов. Данная технология измеряет сходства между шаблоном и анализируемым изображением, предоставляя значение корреляции, отражающее степень сходства между двумя изображениями. Процесс нормализованной кросс-корреляции включает в себя обработку интенсивностей как шаблонного, так и анализируемого изображений, обеспечивая инвариантность корреляции к изменениям общей яркости и контраста. Этот этап обработки является важным для точного сопоставления и обеспечения устойчивости к изменениям освещения и других внешних условий. Результаты корреляции находятся в диапазоне от минус 1 до 1, где 1 – идеальное совпадение, 0 – полное отсутствие корреляции, а минус 1 предполагает полную антикорреляцию. Нормализованная кросс-корреляция доказала свою высокую эффективность в обнаружении объектов в сложных изображениях [3]. Ма-

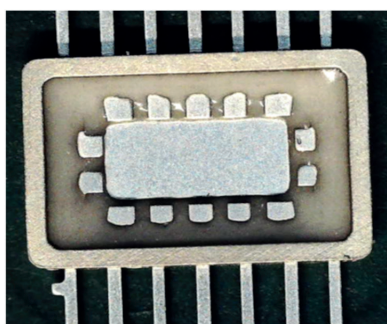
тематически, нормализованная кросс-корреляция  $R$  между шаблоном  $T$  и анализируемым изображением  $I$ , может быть выражена следующей формулой:

$$R(u, v) = \frac{\sum_{x,y}(T(x, y) - T_{cp})(I(x - u, y - v) - I_{cp})}{\sqrt{\sum_{x,y}(T(x, y) - T_{cp})^2 \sum_{x,y}(I(x - u, y - v) - I_{cp})^2}}$$

где  $(u, v)$  – смещение;  
 $T_{cp}$  и  $I_{cp}$  – средние значения шаблона и анализируемого изображения *соответственно*.

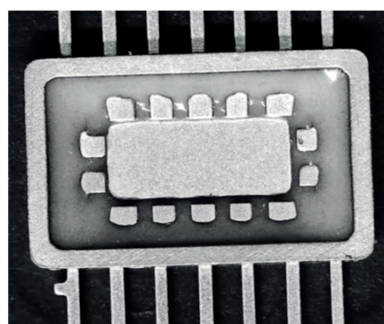
### Предварительная обработка изображения

Процесс предварительной обработки изображения начинается с его преобразования из цветного в черно-белое с одним каналом интенсивности на пиксель, отражающим его яркость. Пример представлен на рис. 1 в виде изображения корпуса интегральной микросхемы 401.14.5. Данный этап упрощает вычисления и сохраняет важные особенности изображения для последующего анализа.



**Исходное изображение**

а)



**Преобразованное изображение**

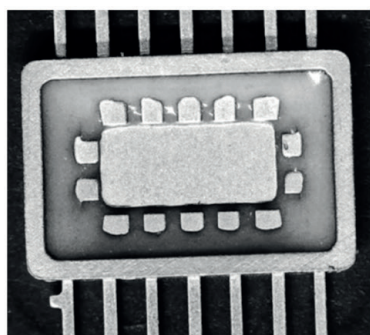
б)

Рис.1. Конвертация изображения из RGB в черно-белое

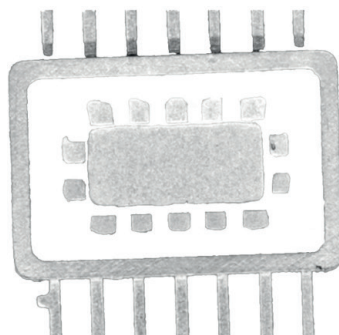
а) исходное изображение, б) преобразованное черно-белое изображение

После преобразования применяется технология коррекции изображения для улучшения контраста и яркости, обеспечивая оптимальную видимость всех деталей изображения. Процесс коррекции способствует более информативному визуальному представлению изображения и повышает точность последующей обработки. Затем на этапе

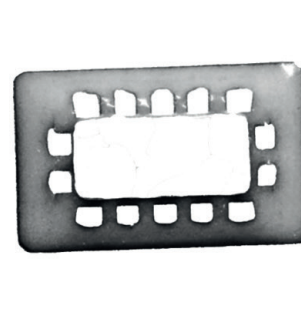
сегментации изображение делится на значимые области, позволяя проводить анализ конкретных интересующих областей. Пример представлен на рис. 2. Этот этап является важным для выделения объектов и структур из фона, способствуя более точному распознаванию дефектов.



а)



б)



в)

Рис. 2. Сегментация изображения

а) преобразованное черно-белое изображение  
б) преобразованное сегментированное изображение (металлическая часть корпуса)  
в) преобразованное сегментированное изображение (стеклянная часть корпуса)

**Определение дефектов**

Определение дефектов происходит методом нормализованной кросс-корреляции путем наложения изображения шаблона на анализируемое изображение. Оценка точности определения дефектов основана на отношении выявленных истинно положительных (годных изделий) и истинно отрицательных (бракованных изделий) к общему числу положительных и отрицательных результатов:

$$P = \frac{t_i + f_i}{t + f},$$

где  $P$  – точность определения;  
 $t_i$  – истинно положительный результат;  
 $f_i$  – истинно отрицательный результат;  
 $t$  – положительный результат;  
 $f_i$  – отрицательный результат.

**Оценка метода**

С целью оценки метода сравнения шаблонов для контроля качества изделий микроэлектроники были проанализированы 100 корпусов для интегральных микросхем из 5 партий, изготовленных в разное время на заводе «Марс». Данный подход направлен на обеспечение всесторонней оценки предложенного метода обнаружения дефектов. Включение множества изображений изделий позволяет подтвердить эффективность и адаптивность технологии обнаружения дефектов, обнаруженных на изделиях микроэлектроники, повышая ее применимость и значимость в процессах контроля качества. Результаты проведенного анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1

Среднее значение точности определения и затраченного времени

	Точность определения, %	Затраченное время, мин
Партия 1	89	22
Партия 2	88	17
Партия 3	91	19
Партия 4	88	21
Партия 5	90	24
Среднее значение	89	21

**Заключение**

Подводя итоги, можно с уверенностью сказать, что предварительная обработка изображений, включающая в себя преобразование цветного изображения в черно-белое, его сегментацию и фильтрацию, является ключевым этапом в подготовке изображения для контроля качества изделий микроэлектроники. Применение метода сравнения шаблонов показало высокие результаты и потенциал для дальнейшего развития. Технология сопоставления шаблонов с использованием корреляционного метода гибка и может быть применена к различным типам изделий.

Полученные результаты подчеркивают важность предварительной обработки изображений для более точного обнаружения дефектов. Воспользовавшись данным методом, производители могут усовершенствовать процесс отбраковки изделий и повысить стандарты качества своей продукции.

**Литература:**

1. Z. Indera Putera, 2010. Printed Circuit Board Defect Detection Using Mathematical Morphology and MATLAB Image Processing Tools.
2. J. P. R. Nayak, K. Antitha, B. D. D. Parameshachari, R. D. Banu, P. Rashmi, 2017. PCB Fault Detection Using Image Processing.
3. K. Briechele, U. D Hanebeck, 2021. Template matching using fast normalized cross-correlation.
4. Wu, W.Y., Wang, M.J.J. and Liu, C.M., 1996. Automated inspection of printed circuit boards through machine vision. Computers in industry.
5. Moganti, M. and Ercal, F., 1995. Automatic PCB inspection systems. IEEE Potentials.
6. R. Brunelli, 2009. Template Matching Techniques in Computer Vision: Theory and Practice.

**ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА УСКОРЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ И ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ПРИ  
ОЦЕНКЕ СООТВЕТСТВИЯ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ ТРЕБОВАНИЯМ К НАДЕЖНОСТИ**

**EXPRESS METHOD FOR DETERMINING THE TEST ACCELERATION COEFFICIENT AND ACTIVATION ENERGY  
IN ASSESSING THE COMPLIANCE OF ELECTRONIC COMPONENT BASE PRODUCTS WITH RELIABILITY REQUIREMENTS**

**Дульский Г.И., Старостин С.В., Французов С.С.,**  
к. т. н., ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России

**Dulskiy G.I., Starostin S.V., Francuzov S.S.,** Ph. D. of Engineering Sciences,  
FSBI 46 Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation

**Аннотация.** В статье предложен экспресс-метод определения коэффициента ускорения испытаний и энергии активации при оценке соответствия изделий электронной компонентной базы требованиям к надежности, основанный на результатах обработки данных о поведении во времени параметров-критериев годности изделий.

**Annotation.** The article proposes a express method for determining the test acceleration coefficient and activation energy in assessing the compliance of electronic component base products with reliability requirements, based on the results of processing data on the behavior of parameters over time-the criteria for the shelf life of products.

**Ключевые слова:** надежность, электронная компонентная база, коэффициент ускорения испытаний, энергия активации, гамма-процентная наработка до отказа, интенсивность отказов, гамма-процентный срок сохраняемости, оценка соответствия требованиям к надежности.

**Keywords:** reliability, electronic component base products, test acceleration coefficient, energy of activation, gamma-percent operating time to failure, failure rate, gamma-percent retention period, assessing the compliance with reliability requirements.

### Введение

Анализ технических заданий (далее – ТЗ) на опытно-конструкторские работы (далее – ОКР) по разработке изделий электронной компонентной базы (далее – ЭКБ) показал, что разработчикам ряда современных и перспективных образцов радиоэлектронных средств вооружения требуется ЭКБ с высокими уровнями безотказности и сохраняемости: гамма-процентной наработкой до отказа до 150 000 ч, интенсивностью отказов с минимальными значениями до  $10^{-12}$  1/ч при  $t_x$  до 150 000 ч, гамма-процентном сроке сохраняемости до 30 лет при значении  $\gamma$  до 99 %.

Учитывая, что в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 0020–57.414 [1] длительные испытания на надежность должны быть завершены к моменту окончания ОКР, подтвердить соответствие изделий ЭКБ требованиям ТЗ к надежности (безотказности и сохраняемости) возможно только ускоренными методами. Современные методические подходы к ускоренной оценке соответствия изделий ЭКБ требованиям к надежности изложены в [2].

### Основная часть

Наиболее распространенным методом ускоренной оценки соответствия изделий ЭКБ требованиям к надежности, который пригоден как для подтверждения требований к безотказности, так и к сохраняемости, является проведение испытаний в форсированных условиях и режимах относительно условий и режимов, для которых установлены требования к надежности. Главной задачей, которая должна быть решена при применении данного метода, является



Дульский Г.И.



Старостин С.В.



Французов С.С.

определение коэффициента ускорения испытаний  $K_y$  при форсировании того или иного внешнего воздействующего фактора или параметра режима. В ряде случаев значение  $K_y$  определяют на основе априорной информации, полученной по результатам испытаний аналогов и прототипов вновь разрабатываемого изделия. Однако, в общем случае, значение  $K_y$  подлежит определению по результатам проведения специальных экспериментальных исследований. Существование этих исследований и проблемы, возникающие при их проведении, рассмотрены ниже.

### Коэффициент ускорения испытаний и проблемы, возникающие при его определении классическим методом

Впервые, математически корректно, коэффициент ускорения испытаний был введен в монографии [3], в основе определения которого положен, разработанной авторами, метод «равных вероятностей».

С целью пояснения формулы для коэффициента ускорения введем следующие обозначения:



$F_H(t, \varepsilon_n)$  – функция распределения случайной величины – наработки изделий до отказа при нормальных испытаниях на надежность,

где  $\varepsilon_n$  – вектор параметров условий и режимов, при которых проводятся нормальные испытания на надежность (температура окружающей среды, электрическая нагрузка, относительная влажность среды, давление среды и т. д.);

$F_\Phi(t, \varepsilon_\Phi)$  – функция распределения случайной величины – наработки изделий до отказа при форсированных испытаниях на надежность,

где  $\varepsilon_\Phi$  – вектор параметров условий и режимов, при которых проводятся форсированные испытания на надежность.

Примечание – в дальнейших выкладках будем упускать аргументы  $\varepsilon_n$  и  $\varepsilon_\Phi$ , имея в виду, что параметры условий и режимов при проведении испытаний известны и неизменны.

Далее:

$Q_H(q_n)$  – функция, обратная функции  $F_H(t)$ , т. н. функция квантилей распределения наработки изделий до отказа при нормальных испытаниях на надежность;

$Q_\Phi(q_\Phi)$  – функция, обратная функции  $F_\Phi(t)$ , т. н. функция квантилей распределения наработки изделий до отказа при форсированных испытаниях на надежность.

По определению коэффициент ускорения испытаний определяется по формуле:

$$K_y = \frac{Q_H(q_n)}{Q_\Phi(q_\Phi)}, \quad (1)$$

при  $q_n = q_\Phi = q$ , что требует метод «равных вероятностей».

Окончательно будем иметь:

$$K_y = \frac{Q_H(q)}{Q_\Phi(q)}, \quad (2)$$

где  $q$  – вероятность отказа изделия за время  $t$ .

При  $t = T_\gamma$   $q = 1 - \gamma/100$ .

Примечания:

1. Для некоторых функций распределения  $F(t)$ , обратная функция  $Q(q)$  может быть получена аналитически. Например, для экспоненциальной функции распределения  $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ :

$$Q(q) = -\frac{1}{\lambda} \cdot \ln(1 - q). \quad (3)$$

Пусть при нормальных испытаниях  $F_H(t) = 1 - e^{-\lambda_n t}$ , а при форсированных испытаниях  $F_\Phi(t) = 1 - e^{-\lambda_\Phi t}$ . Тогда, в соответствии с формулами (2), (3), коэффициент ускорения будет равен:

$$K_y = \frac{Q_H(q)}{Q_\Phi(q)} = \frac{-\frac{1}{\lambda_n} \cdot \ln(1 - q)}{-\frac{1}{\lambda_\Phi} \cdot \ln(1 - q)} = \frac{\lambda_\Phi}{\lambda_n}.$$

Заметим, что  $K_y$  для экспоненциального закона распределения не зависит от  $q$ .

2. При нормальном законе распределения функция квантилей не выражается через элементарные функции и

определяется с использованием численных методов. Статистическое моделирование показывает, что если функции  $F_H(t)$  и  $F_\Phi(t)$  нормальные и имеют одинаковый коэффициент вариации, то  $K_y$  также не зависит от  $q$ .

Стоит отметить, что для произвольных функций распределения  $F(t)$  и, соответственно, функций квантилей  $Q(q)$  коэффициент ускорения  $K_y$  зависит от значения  $q$ .

Определение коэффициента ускорения  $K_y$  классическим путем, используя формулу (2), для современной элементной базы наталкивается на непреодолимые трудности, связанные с необходимостью решения следующих задач:

1. Определение вида функций распределения наработки изделий до отказа при нормальных и форсированных испытаниях.

2. Определение параметров функций распределения.

Для решения первой задачи необходимо располагать минимум 30 – 40 реализациями случайной величины (т. е. иметь указанное количество отказов на испытаниях).

Даже если *a priori* вид функций распределения известен, для решения второй задачи – получения оценок параметров распределений с приемлемой для решения практических задач точностью и достоверностью, необходимо располагать не менее 8 – 12 реализациями случайной величины (т. е. отказами).

Учитывая, что государственными военными стандартами, регламентирующими методы оценки соответствия изделий требованиям к надежности, отказы при испытаниях не допускаются (приемочное число  $A_c$  устанавливается равным нулю), а также высокий уровень требований к значениям показателей надежности современной ЭКБ, накопление на испытаниях необходимого количества отказов требует неприемлемо большого времени, исчисляемого десятками лет.

### Экспресс-метод определения коэффициента ускорения испытаний

Предлагаемый экспресс-метод определения коэффициента ускорения испытаний основывается на утверждении, что при отсутствии отказов на испытаниях вся доступная информация о техническом состоянии изделия содержится в результатах измерения значений его технических параметров.

Сущность предлагаемого экспресс-метода состоит в выявлении закономерностей изменения во времени технических параметров изделия за ограниченное время наблюдения (испытаний) и использование выявленных закономерностей для определения, методом прогнозирования, необходимых исходных данных для получения количественных оценок коэффициента ускорения и, при необходимости, энергии активации.

Экспресс-метод применим для любых классов, групп и типов изделий ЭКБ, критерием отказа которых является выход технических параметров-критериев годности за пределы допусков, установленных в ТЗ или технических условиях.

Для большей наглядности метод излагается на примере его практического применения для литий-ионных аккумуляторов (далее – ЛИА).

Исходными данными для проведения соответствующих исследований явились результаты испытаний ЛИА типа ICR 50/320, содержащиеся в отчете [4].

Содержание проведенных испытаний состояло в следующем.

Вновь изготовленные ЛИА, заряженные на 100 % полной зарядки (3 выборки по 10 образцов), выдерживались (хранились) в камере тепла при температурах 30 °С, 40 °С, 50 °С с периодическим контролем основного параметра-критерия годности – емкости аккумуляторов (значение начальной и текущей емкости аккумуляторов контролировалось по методике, приведенной в технических условиях на аккумуляторы).

### Содержание и порядок обработки результатов испытаний

Результаты измерения емкости аккумуляторов, хранящихся при температуре окружающей среды (30 °С), приведены в таблице 1, а также, в виде сглаженных кривых, на рис. 1.

Одновременно на рис. 1 проведена горизонтальная линия на уровне 32 А·ч, соответствующая предельно-допустимому значению остаточной емкости аккумуляторов данного типа.

Как следует из данных, приведенных в таблице 1 и на

рис. 1, у трех образцов аккумуляторов наблюдался полный отказ. Однако у этих образцов до наступления полного отказа уже был зафиксирован параметрический отказ. Естественно, что при обработке результатов испытаний значения емкости, измеренные после наступления параметрического отказа, не учитывались.

По характеру случайного процесса, приведенного на рис. 1, видно, что его реализации целесообразно аппроксимировать линейными функциями вида:

$$y = v \cdot t + y_0, \quad (4)$$

где  $y$  – текущее значение емкости, А·ч;  
 $v$  – скорость изменения емкости, А·ч/ч;  
 $y_0$  – начальное значение емкости, А·ч.

Основной задачей обработки результатов испытаний являлось получение т. н. «оценки максимального правдоподобия» для скорости изменения параметра-критерия годности  $v$  для каждого образца ЛИА. Получение такой оценки обеспечивает метод «наименьших квадратов».

При дальнейшей обработке использовалась вся статистика, полученная за 11712 ч испытаний. Однако, учитывая характер изменения параметра-критерия годности во времени, очевидно, что с незначительной потерей точности и достоверности достаточно ограничиться 3 – 5 тыс. часов наблюдений (испытаний), что составит порядка 30 % от ожидаемого значения средней наработки ЛИА до отказа.

Таблица 1  
Емкость аккумуляторов, А·ч (температура окружающей среды 30 °С, уровень зарядки 100 %).

Усл. № аккумуля	Срок хранения, ч																																	
	0	408	792	1152	1512	1872	2256	2592	2952	3312	3672	4032	4392	4728	5064	5424	5760	6120	6456	6792	7152	7464	8016	8376	8712	9144	9504	9840	10176	10632	11016	11352	11712	
1	45,35	44,34	44,01	44,01	43,34	42,79	43,23	42,50	41,90	41,12	38,90	39,80	38,90	38,46	37,68	37,23	36,68	36,01	35,01	34,79	34,45	33,78	33,24	32,68	31,68	31,01	30,68	30,01	29,56	28,79	2,11			
2	44,89	44,23	44,23	43,68	43,67	43,23	43,68	42,56	42,12	42,46	41,79	41,58	41,02	40,01	40,02	39,46	39,12	38,12	37,98	37,58	36,45	36,68	35,68	35,46	33,90	33,22	32,90	33,13	32,12	31,67	31,68	30,79	2,33	
3	45,46	44,23	43,90	43,90	43,45	42,90	42,67	43,12	42,79	41,67	40,23	41,24	40,45	40,91	39,90	39,46	39,01	39,13	38,90	37,79	37,12	34,67	37,02	36,01	34,90	34,46	33,79	33,68	33,23	31,13	32,01	32,24	31,12	
4	44,23	43,76	43,78	43,29	43,23	42,56	43,23	41,90	41,56	41,79	40,34	40,80	40,13	39,24	39,36	38,69	38,13	37,45	36,44	36,46	36,02	37,35	34,45	34,35	33,01	32,46	32,46	32,13	31,01	33,13	2,33			
5	44,68	43,56	43,68	43,12	42,67	42,45	42,34	42,56	42,23	41,12	41,57	40,46	39,80	40,47	39,34	38,79	38,46	39,02	38,46	36,12	37,24	36,34	36,57	35,57	34,57	33,79	34,21	33,23	33,01	32,57	32,01	31,91	31,46	
6	44,23	43,89	43,90	43,01	42,79	42,56	42,79	42,46	41,34			40,79			39,68			39,12			38,23			37,34		35,90			35,23				32,57	
7	45,68	44,34	44,46	43,56	43,45	43,01	43,46	43,12	42,79			41,46			41,25			40,79			39,45			39,13		37,80			37,13				35,90	
8	44,45	44,23	44,01	43,46	43,23	42,89	42,34	42,23	41,78			41,91			40,35			39,68			39,57			38,34		37,24			36,01				35,35	
9	45,57	43,57	43,34	42,79	42,67	42,23	42,57	42,12	41,57			40,12			39,58			38,80			37,12			36,46		34,57			33,91				32,35	
10	42,67	42,34	42,24	41,67	41,12	40,89	40,23	39,90	39,34			39,25			37,90			36,90			36,68			35,34		34,35			33,01				32,24	

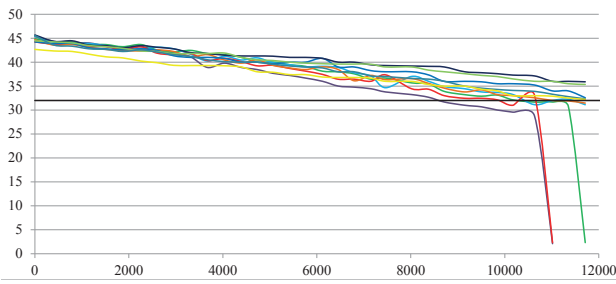


Рис. 1. Реализации случайного процесса изменения емкости ЛИА, А·ч от времени хранения, ч при  $T_{окр.ср.} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Результаты обработки для одного из образцов приведены на рис. 2. и в таблице 2. Достоверность аппроксимации ( $R^2$ ) изменения емкости аккумуляторов линейной функцией составила для разных образцов от 0,972 до 0,993.

Помимо скоростей изменения емкости аккумуляторов, в таблице 2 приведены расчетные значения следующих величин, полученные по формулам (5), (6), (7):

- $m_v$  – математическое ожидание скорости;
- $\sigma_v$  – среднеквадратическое отклонение скорости.

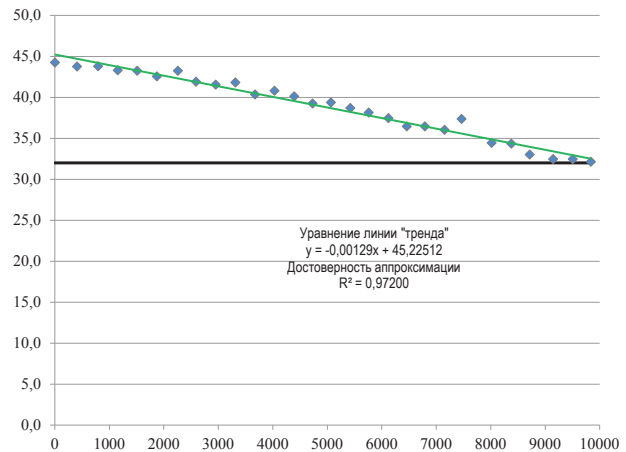


Рис. 2. Зависимость емкости ЛИА усл. № 4, А·ч от времени хранения, ч при  $T_{окр.ср.} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Скорость изменения емкости испытанных образцов ЛИА при температуре окружающей среды  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  Таблица 2

Усл. № ЛИА	Скорость изменения емкости $v$ , А·ч/ч
1	- 0,0016
2	- 0,0013
3	- 0,00121
4	- 0,00129
5	- 0,00114
6	- 0,00091
7	- 0,00074
8	- 0,00076
9	- 0,00101
10	- 0,00088
Математическое ожидание скорости – $m_v$	- 0,0010840
Среднеквадратическое отклонение скорости – $\sigma_v$	0,0002739
Нижняя доверительная граница математического ожидания скорости – $m_{v\text{ нижн.}}$	- 0,0011066

$m_{v\text{ нижн.}}$  – нижняя односторонняя доверительная граница математического ожидания скорости.

$$m_v = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n v_i, \quad (5)$$

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (v_i - m_v)^2}, \quad (6)$$

$$m_{vн} = m_v - t_{\beta} \cdot \frac{\sigma_v}{\sqrt{n}}, \quad (7)$$

где  $i$  – порядковый номер образца;  
 $n$  – количество образцов;  
 $v_i$  – скорость изменения параметра у  $i$ -го образца;  
 $m_v$  – математическое ожидание скорости;  
 $\sigma_v$  – среднеквадратическое отклонение скорости;  
 $t_{\beta}$  – квантиль распределения Стьюдента с  $r=(n-1)=9$  степенями свободы, отвечающий доверительной вероятности  $\beta = 0,6$ .

Принципиальным моментом настоящей методики является аппроксимация реального случайного процесса ква-

зидетерминированным «линейчатым» случайным процессом с линейными реализациями, управляемым нормально распределенной случайной величиной. Как отмечено в [5], такой процесс изменения параметров изделий характерен для стендовых испытаний однородной продукции.

Существо аппроксимации состоит в следующем: всем реализациям реального линеализованного случайного процесса присваивается одинаковая скорость, равная нижней односторонней доверительной границе математического ожидания скорости –  $m_{v\text{ нижн.}}$ . Как показано в [6], такая аппроксимация обеспечивает, в дальнейшем, получение гарантированных оценок для показателей надежности.

Отметим важное обстоятельство, состоящее в том, что моменты пересечения квазидетерминированным «линейчатым» случайным процессом с линейными реализациями, управляемым нормально распределенной случайной величиной, линии допуска на уровне  $u_{\text{доп. нижн.}}$  (моменты параметрических отказов), как показано в [7], распределены по нормальному закону.

Математическое ожидание  $M$  и среднее квадратическое отклонение  $\Sigma$  времени хранения ЛИА до параметрического отказа определяются по формулам (8), (9):

$$M = \frac{y_{\text{доп. нижн.}} - m}{|m_{\text{v нижн.}}|}, \quad (8)$$

$$\Sigma = \frac{\sigma}{|m_{\text{v нижн.}}|}, \quad (9)$$

где  $y_{\text{доп. нижн.}} = 32$  А·ч – нижнее допустимое значение емкости ЛИА;

$m = 44,62$  А·ч – математическое ожидание начальных значений емкости ЛИА;

$\sigma = 0,787373$  А·ч – среднее квадратическое отклонение начальных значений емкости ЛИА;

$m_{\text{v нижн.}} = -0,0011066$  А·ч/ч – нижняя односторонняя доверительная граница математического ожидания скорости изменения емкости ЛИА.

Примечание – значения  $m$  и  $\sigma$  определены по 30 образцам ЛИА со 100 % зарядкой, предназначенным для испытаний при температурах 30 °С, 40 °С, 50 °С, что повышает достоверность определения соответствующих моментов функции распределения начальных значений емкости ЛИА и позволяет ограничиться их точечными оценками.

Подставляя исходные данные в формулы (8), (9), получим значения математического ожидания  $M$  и среднее квадратическое отклонение  $\Sigma$  функции распределения времени хранения ЛИА до параметрического отказа при температуре окружающей среды 30 °С:  $M=11404,3$  ч,  $\Sigma=711,5$  ч.

Аналогичные расчеты были проведены по результатам хранения ЛИА при температуре окружающей среды 40 °С и 50 °С.

Итоговые результаты расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Итоговые результаты обработки данных испытаний

Температура окружающей среды, °С	Параметры закона распределения срока хранения ЛИА до отказа		
	Математическое ожидание $M$ , А·ч	Среднее квадратическое отклонение $\Sigma$ , А·ч	Коэффициент вариации $\Sigma / M$
30	11404,3	711,5	0,0624
40	8897,3	555,1	0,0624
50	3772,2	235,4	0,0624

### Определение коэффициента ускорения испытаний

Коэффициент ускорения испытаний определяем по формуле (2). Поскольку коэффициент ускорения не зависит от значения вероятности отказа  $q$ , что подтверждается постоянством коэффициента вариации (см. столбец 4 таблицы 3), примем  $q = 0,5$ . Но квантиль уровня 0,5 совпадает с математическим ожиданием нормального закона распределения.

Откуда следует, что коэффициент ускорения может быть определен по следующей формуле

$$K_{y_{T_1/T_2}} = \frac{M(T_1)}{M(T_2)}, \quad (10)$$

где  $M(T_1)$  – математическое ожидание функции распределения срока хранения ЛИА при нижнем значении температуры окружающей среды  $T_1$ ;

$M(T_2)$  – математическое ожидание функции распределения срока хранения ЛИА при верхнем значении температуры окружающей среды  $T_2$ .

На рис. 3 представлены точки, отображающие зависимость значения  $M$  от температуры окружающей среды  $T$ , заимствованные из таблицы 3, и аппроксимирующая их с достоверностью  $R^2 = 1,0$  полиномиальная функция, имеющая уравнение:

$$M = -13,091 \cdot T^2 + 665,63 \cdot T + 3216,7 \quad (11)$$

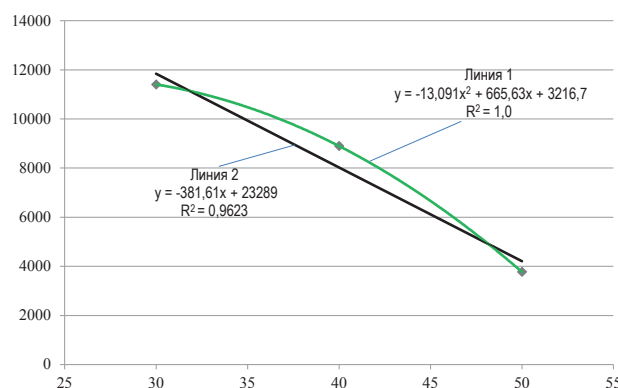


Рис. 3. Зависимость математического ожидания функции распределения срока хранения ЛИА до отказа  $M$ , ч от температуры окружающей среды  $T$ , °С – линия 1 и линеализирующая ее прямая – линия 2

Используя формулы (10), (11) или график на рис. 3, для любых двух температур может быть определен коэффициент ускорения испытаний.

Действительно, для двух произвольных значений температур  $T_1$ ,  $T_2$  ( $T_1 < T_2$ ) в диапазоне температур от 30 °С до 50 °С коэффициент ускорения испытаний может быть определен по формуле:

$$K_{y_{T_1/T_2}} = \frac{M(T_1)}{M(T_2)} = \frac{-13,091 \cdot T_1^2 + 665,63 \cdot T_1 + 3216,7}{-13,091 \cdot T_2^2 + 665,63 \cdot T_2 + 3216,7} \quad (12)$$

Приведенных формул и графика достаточно для планирования ускоренных испытаний ЛИА на сохраняемость.

**Определение энергии активации**

В данном подразделе определяется усредненная в заданном интервале температур энергия активации некоего физико-химического процесса, определяющего наблюдаемую деградацию ЛИА в процессе хранения.

Как следует из формулы (11) и графика на рис. 3, коэффициент ускорения испытаний зависит не только от разности температур, но и от абсолютного значения температур, что обусловлено нелинейным характером функции  $M = f(T)$ . Для определения энергии активации необходимо линеаризовать данную функцию.

На рис. 3 представлена линеаризованная методом «наименьших квадратов» функция  $M = f(T)$  – линия 2, которая описывается следующим уравнением:

$$M = -381,61 \cdot T + 23289 \quad (13)$$

Усредненный в диапазоне произвольно выбранных температур  $T_1, T_2$  коэффициент ускорения, определяемый по линеаризованной функции  $M = f(T)$ , вычисляем по формуле (14):

$$K_{y_{T_1/T_2}} = \frac{M(T_1)}{M(T_2)} = \frac{-381,61 \cdot T_1 + 23289}{-381,61 \cdot T_2 + 23289} \quad (14)$$

Примем  $T_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Подставляя данные значения температуры в формулу (14), получим значение  $K_y = 2,81352$ .

Выпишем известную формулу для коэффициента ускорения, вытекающую из уравнения Аррениуса:

$$K_y = e^{B \cdot \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)}, \quad (15)$$

где  $B$  – энергетический параметр, К;

$T_1, T_2$  – температура нормальных и ускоренных испытаний, К.

Логарифмируя левую и правую части равенства (15) и разрешая полученное выражение относительно  $B$ , получим:

$$B = \frac{\ln K_y}{\left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)}. \quad (16)$$

Подставляя полученное значение  $T_1 = 30 + 273 = 303 \text{ К}$ ,  $T_2 = 50 + 273 = 323 \text{ К}$ , получим  $B = 5172,2 \text{ К}$ .

Располагая значением энергетического параметра  $B$  можно вычислить энергию активации  $E_a$  в различных единицах измерения по следующим формулам:

в электронвольтах

$$E_a = B \cdot k, \text{ эВ,}$$

где  $k = 8,62 \cdot 10^{-5}$  – постоянная Больцмана, эВ/К;

в Джоулях/моль

$$E_a = B \cdot R, \text{ Дж/моль,}$$

где  $R = 8,31$  – универсальная газовая постоянная,

Дж/К·моль.

Используя приведенные выше соотношения, для энергии активации получим:

$$E_a = B \cdot k = 5172,2 \cdot 8,62 \cdot 10^{-5} = 0,45 \text{ эВ,}$$

или

$$E_a = B \cdot R = 5443,71 \cdot 8,31 = 42981 \text{ Дж/моль} \approx 43 \text{ кДж/моль.}$$

Полученное значение энергии активации может быть использовано в качестве априорной информации при планировании ускоренных испытаний на сохраняемость вновь разрабатываемых литий-ионных аккумуляторов с электрохимической системой, аналогичной электрохимической системе ЛИА типа ICR 50/320.

**Заключение**

В статье предложен и продемонстрирован на конкретном примере эффективный универсальный экспресс-метод оценки коэффициента ускорения испытаний на надежность, осуществляемого за счет ужесточения уровней внешних воздействующих факторов или параметров режима. Одновременно этим методом могут быть оценены коэффициенты соответствующих математических моделей.

Метод работает при отсутствии отказов на испытаниях и обеспечивает оценку коэффициента ускорения и коэффициентов математических моделей в приемлемые сроки, необходимые для выявления вида и характера изменения во времени параметров-критериев годности.

Метод применим не только при линейном изменении параметров-критериев годности во времени, но и для достаточно обширного класса нелинейных функций, вторая производная которых монотонно стремится к нулю.

**Литература**

1. ГОСТ РВ 0020–57.414–2020 «Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Методы оценки соответствия требованиям к надежности».
2. Методические рекомендации по разработке методик ускоренных испытаний на безотказность и сохраняемость изделий электронной компонентной базы военного назначения – Москва, ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, 2023.
3. Перротте А.И., Карташев Г.Д., Цветаев К.Н. Основы ускоренных испытаний радиоэлементов на надежность. Изд. «Советское радио» – Москва, 1968.
4. Отчет о НИР «Надежность-ЛИА», этап 2 – Москва, ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, 2022.
5. Герцбах И.Б., Кордонский Х.Б. Модели отказов. Изд. «Советское радио» – Москва, 1966.
6. Дульский Г.И., Морозов В.Ю. К вопросу оценки предельной наработки электрорадиоизделий военного назначения в составе аппаратуры. Научно-технический сборник «Военная электроника и электротехника», выпуск 67 (Ф) – Москва, ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, 2015.
7. Острейковский В.А. Многофакторные испытания на надежность. Изд. «Энергия» – Москва, 1966.

**ОНТОЛОГИЯ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ КАК ОСНОВА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСА ВЗАИМОУВЯЗАННЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ В РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ**

**DOMAIN ONTOLOGY AS A BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF A SET OF INTERRELATED DOCUMENTS ON STANDARDIZATION IN RADIO ELECTRONICS**

**Зажигалкин А.В.**, д. э. н., **Козлов И.П.**, к. т. н., **Колядин А.И.**,  
ФГБУ «ВНИИР»; +7 (919) 729-73-80, kozlov@vniir-m.ru

**Zazhigalkin A.V.**, Doctor of Economics, **Kozlov I.P.**, Candidate of Technical Sciences, **Kolyadin A.I.**,  
FSBI «VNIIR»; +7 (919) 729-73-80, kozlov@vniir-m.ru

**Аннотация:** *Обозначены существующие проблемы в области стандартизации радиоэлектроники. Обоснована целесообразность онтологического подхода к разработке комплекса взаимосвязанных стандартов по всем предметным областям в радиоэлектронике. Дано краткое описание термина – онтология. Сделан вывод о потребности инженера проектировщика электроники в базе знаний по взаимосвязанным требованиям стандартов к электронным изделиям.*

**Annotation:** *The existing problems in the field of standardization of radio electronics are outlined. The expediency of an ontological approach to the development of a set of interrelated standards in all subject areas in radio electronics is substantiated. A brief description of the term ontology is given. It is concluded that the electronics engineer needs a knowledge base on the interrelated requirements of standards for electronic products.*

**Ключевые слова:** стандартизация, радиоэлектроника, онтология, база знаний.

**Keywords:** standardization, radio electronics, ontology, knowledge base.

### Введение

Одной из сложнейших задач в сфере стандартизации радиоэлектроники является организация разработки комплекса взаимосвязанных стандартов по предметной области (далее – ПрО). Технических комитетов по стандартизации (далее – ТК), основная деятельность которых связана с кодами областей стандартизации, имеющими отношение к радиоэлектронике, в настоящее время более 25. Как планирование, так и разработка стандартов через эти ТК ведется без их взаимосвязки. Не удивительно, что в документах по стандартизации (далее – ДС), относящихся к сфере радиоэлектроники, присутствуют такие проблемы как: дублирование информации (избыточность), неопределенность и неоднозначность в определениях понятий, встречающиеся противоречия и т. п. Причем перечисленные проблемы наиболее характерны для терминологической области стандартизации. Например, для идентификации технической характеристики цифро-аналоговых и аналого-цифровых преобразователей (далее – ЦАП и АЦП) с определением [1]: «Отклонение от установленной прямой линии характеристики преобразования, % или единица младшего значащего разряда», используются следующие термины (синонимы):

- «нелинейность» [2, 3];
- «нелинейность цифро-аналоговых преобразователей» [1];
- «нелинейность аналого-цифровых преобразователей» [1];
- «нелинейность ЦАП (АЦП)» – термин, часто употребляемый в технических условиях (далее – ТУ);
- «интегральная нелинейность» [4];
- «нелинейность функции преобразования» [4].



Зажигалкин А.В.



Козлов И.П.



Колядин А.И.

В современных условиях разработка сложных электронных изделий ведется путем совместной работы коллектива различных специалистов [5]. Каждый из задействованных специалистов занимается либо проектированием части изделия, либо выполнением узкоспециальных проектных операций. Заметим, что уже повсеместно некоторые операции, для выполнения которых ранее был необходим «узкий» специалист, выполняются специальным программным обеспечением (далее – СПО). Например, поиск данных по электронной компонентной базе (далее – ЭКБ) рационально осуществлять с помощью специальных баз данных, так как просмотр и анализ информации из большого количества ТУ по необходимому классу ЭКБ отнимет слишком много времени у высококвалифицированного инженера проектировщика. Но если база данных по ЭКБ разработана на основе действующих стандартов в сфере радиоэлектроники, то насколько корректно будут работать поисковые сервисы? На этот риторический вопрос ответ уже есть – поисковые сервисы не только баз данных, но и любого СПО, разработанного на

основе действующих стандартов в сфере радиоэлектроники работают, мягко говоря, некорректно, а точнее, не информируют, а большей частью дезинформируют инженера проектировщика.

В жизненном цикле радиоэлектронной аппаратуры (далее – РЭА) занято множество организаций: проектировщики, производители, поставщики и т. д., каждая из которых обычно использует свой набор компьютерных систем. Перечисленные выше проблемы в части стандартизации радиоэлектроники делают практически нерешаемой и без того одну из сложнейших задач – организацию взаимодействия информационных систем (далее – ИС), использующихся при создании и эксплуатации РЭА.

### Описание проблемы и определения

Общие требования к представлению данных по ПрО радиоэлектроники можно сформулировать так:

1. представление должно быть хорошо приспособлено для извлечения пертинентных (по ГОСТ 7.73-96: «Пертинентность; пертинентный: Соответствие полученной информации информационной потребности») данных из их общего совокупного множества с помощью компьютерной обработки (или, как сейчас модно говорить, цифровизации);
2. представление должно облегчать человеку понимание ПрО и поиск пертинентных решаемой задаче данных.

Отметим, что структурированные данные пертинентные решаемым задачам приобретают новое качество – помогают решать эти задачи и, по сути, уже являются знаниями. Это непосредственно следует из некоторых определений понятия – знания:

- закономерности ПрО (принципы, связи, законы), полученные в результате практической деятель-

ности и профессионального опыта, позволяющие специалистам ставить и решать задачи в этой ПрО;

- хорошо структурированные данные.

Наиболее перспективная модель для структурирования пространства знаний – это онтологическая модель [6], которая являясь наглядной для человека, хорошо приспособлена для цифровизации процессов управления и разработки.

Дополнительным плюсом онтологической модели представления знаний является возможность эволюционного совершенствования онтологии в направлении увеличения степени выразительности [6]. Онтологии или иерархические концептуальные структуры формируются экспертами на основе изучения и структурирования ПрО.

Термин «онтология», применительно к информационным технологиям, впервые введен в употребление в 1991 году Грубером [7] для обозначения связанного фрагмента декларативного знания. Один из существенных принципов, сложившихся в этой области – это разделение декларативных (непроцедурных) и императивных (процедурных) знаний и создание спецификаций декларативных знаний. Обычно такая спецификация состоит из иерархической структуры классов объектов по ПрО, их связей, свойств и правил, принятых в этой ПрО (рис. 1). Именно формализация представления понятий (концептов), связей между ними и их свойств (атрибутов) в онтологии делает возможным их использование в широком спектре ИС. Компьютерная онтология является формальным представлением концептуальных знаний о ПрО и по своей значимости сопоставима с базой знаний (далее – БЗ) интеллектуальной ИС [8]. Онтология ПрО или концептуальная модель части реальной ПрО и ее объекты (концепты) должны отражать эту реальность.

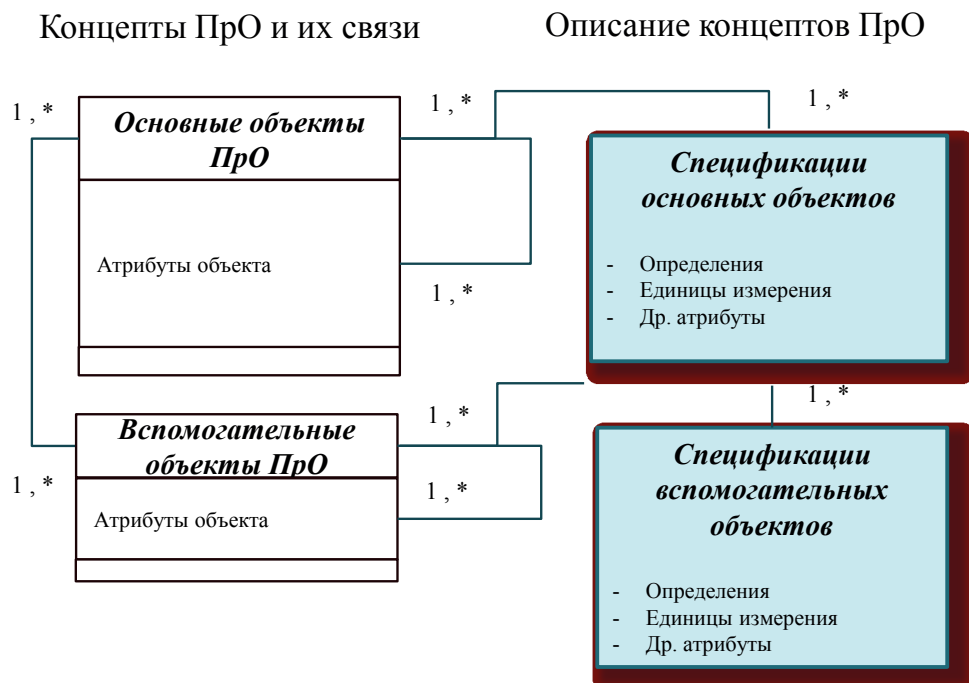


Рис. 1. Онтология ПрО

Для классификации онтологий используют показатели: уровень универсальности (*generality*) и выразительность (*expressiveness*). Уровень универсальности определяет масштаб онтологии, а выразительность – детальность ее описания. Онтологии могут быть представлены как спектр в зависимости от степени выразительности представления [9] (рис. 2):

1) Контролируемый словарь, т. е. конечный список терминов (простейшим примером является каталог на основе идентификаторов).

2) Глоссарий, представляющий список терминов с их определениями. Определения описываются в виде комментариев на естественном языке.

3) Тезаурусы несут дополнительную семантику, определяя связи между терминами.

4) Неформальная и формальные таксономии. Эти онтологии включают точное определение отношения класс-подкласс и существует явная иерархия. В формальной таксономии строго соблюдается транзитивность этого отношения.

5) Наличие формального отношения класс-экземпляр. Некоторые классификации включают только имена классов, другие содержат на нижнем уровне экземпляры. Данная точка спектра включает экземпляры классов.

6) Фреймы. Здесь классы (фреймы) могут иметь информацию о свойствах (слотах). Свойства бывают особенно полезными, когда они определены на верхних уровнях иерархии и наследуются подклассами.

7) Онтологии, включающие ограничения на область значений свойств. Значения свойств берутся из некоторо-

го predetermined множества (целые числа, символы алфавита и пр.) или из подмножества концептов онтологии (множество экземпляров данного класса, множество классов).

8) Онтологии позволяют объявлять произвольные логические утверждения о концептах – аксиомы.

- 1 Контролируемый словарь
- 2 Словари терминов (глоссарии)
- 3 Тезаурусы
- 4 Неформальные и формальные таксономии
- 5 Формальные экземпляры
- 6 Свойства на основе фреймов
- 7 Ограничения на значения/тип
- 8 Произвольные логические ограничения

Рис. 2. Спектр выразительности онтологий

### Основная часть

Очевидно, что онтологический подход можно использовать для организации разработки комплекса взаимосвязанных стандартов по всем ПрО радиоэлектроники. Действительно, если разработать стандарты по онтологиям ПрО, а затем с привязкой к онтологиям остальные ДС, регламентирующие соответствующие комплексы требований, то можно обеспечить взаимосвязку ДС и определить, каких ДС не хватает по конкретной ПрО (рис. 3).



Рис. 3. Взаимосвязка ДС по ПрО



При реализации данного подхода, стандартизация будет направлена на достижение упорядоченности в радиоэлектронике, как это определено в [10]: «стандартизация – деятельность по разработке (ведению), утверждению, изменению (актуализации), отмене, опубликованию и применению документов по стандартизации и иная деятельность, направленная на достижение упорядоченности в отношении объектов стандартизации».

Отметим, что представление комплекса ДС по ПрО в виде большого количества отдельных документов уже не может обеспечить того уровня анализа, который необходим для проверки соответствия сложных электронных изделий требованиям ДС. Поэтому эту функцию рационально «поручить» компьютерной программе, представляющей из себя БЗ, построенную на основе ДС. Для создания такой БЗ необходимы соответствующие компьютерно-ориентированные ДС. Такого рода ДС называют умными (SMART) стандартами. Умный (SMART) стандарт (SMART-стандарт): Совокупность данных, содержащихся в документе по стандартизации, представленных в машиночитаемом, машиноинтерпретируемом и машинопонимаемом форматах [11].

### Заключение

Инженеру проектировщику электроники нужна БЗ по взаимосвязанным требованиям ДС к электронным изделиям, к которой можно обратиться с запросом и получить конкретный ответ, и при этом быть уверенным, что ответ точный и однозначный.

Для достижения этого необходимо:

- разработать и реализовать концепцию стандартизации, которая предусматривает создание комплексов ДС на основе стандартов по онтологиям ПрО радиоэлектроники;
- все ДС, разрабатываемые в рамках данной концепции, должны быть компьютерно-ориентированными (SMART стандартами);
- разработать и внедрить (на основе этих ДС) специализированную БЗ, перечень функций которой будет включать функцию по проверке технической документации (цифровых ТУ) на соответствие требованиям ДС к электронным изделиям.

В заключении отметим, что в ФГБУ «ВНИИР» ведется разработка комплекса национальных стандартов по онтологиям в ПрО ЭКБ, 19 из них уже утверждены и опубликованы. Один из них [12].

### Литература

1. ГОСТ 24736-81 «Преобразователи интегральные цифроаналоговые и аналого-цифровые. Основные параметры».
2. ГОСТ 29109-91 «Приборы полупроводниковые. Микросхемы интегральные. Часть 4. Интерфейсные интегральные схемы».
3. ГОСТ Р 55893-2013 «Микросхемы интегральные. Основные параметры».
4. ГОСТ 30606-98 «Преобразователи цифрового кода в напряжение или ток измерительные. Основные параметры. Общие технические требования. Методы испытаний».
5. Проектирование радиоэлектронных средств на основе современных информационных технологий: учебное пособие / Головицына М.В. – Москва: Интернет-Университет Информационных Технологий: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2011. – 503 с.
6. Колядин А.И. Вопросы представления информации по электронным компонентам в радиоэлектронной отрасли // Мытищи, ФГБУ «ВНИИР», Научно-технический журнал «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения». – 2022. – № 2 (6). – С. 35-39.
7. Gruber T.R. The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases. In J. A. Allen, R.Fikes, and E. Sandewell, editors, Principles of Knowledge Representation and Reasoning – Proceedings of the Second International Conference, pp. 601-602. Morgan Kaufmann (1991).
8. Бова В.В., Кравченко Д.Ю., Лещанов Д.В., Новиков А.А. Компьютерная онтология: задачи и методология построения // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2014. – № 4 (19) – С. 1-11.
9. Соловьев В.Д., Добров Б.В., Иванов В.В., Лукашевич Н.В. Онтологии и тезаурусы: Учеб. пособие. – Казань, Москва, 2006 – 156 с.
10. Федеральный закон от 29.06.2015 № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации».
11. ПНСТ 864-2023 Умные (SMART) стандарты. Общие положения.
12. ГОСТ Р 59988.00.0 «Системы автоматизированного проектирования электроники. Информационное обеспечение. Технические характеристики электронных компонентов. Общие положения».

К ВОПРОСУ О МЕНЕДЖМЕНТЕ РИСКОВ

ON THE ISSUE OF RISK MANAGEMENT

Винокуров А.В. к. т. н., с. н. с., Алексеева Т.И., Зайцева Ю.А.,

ФБГУ «ВНИИР»; +7 (495) 586-17-21, usi@vniir-m.ru

Vinokurov A.V. Ph.D. of engineering sciences, Senior Researcher Officer, Alekseeva T.I., Zaitseva Yu.A.,

FBGU "VNIIR"; +7 (495) 586-17-21, usi@vniir-m.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы реализации требований подраздела 6.1 стандарта ГОСТ РВ 0015-002-2020 в части действий в отношении рисков и возможностей, а также предложения по их улучшению.

**Annotation.** The article discusses the implementation of the requirements of subsection 6.1 of GOST RV 0015-002-2020 standard in terms of actions regarding risks and opportunities, as well as suggestions for their improvement.

**Ключевые слова:** риски, возможности, менеджмент, система менеджмента качества, ресурсы для менеджмента рисков и возможностей.

**Keywords:** quality management system, monitoring and measurement resources.

**Введение**

В п. 6.1 ГОСТ РВ 0015-002-2020 «Действия в отношении рисков и возможностей», включенном в раздел 6 «Планирование», приведены требования к планированию и документированию порядка управления рисками и возможностями [1]. Далее в более, чем 12-ти пунктах этого стандарта (п.п. 8.2.3.4, 8.3.2.4, 8.3.4.1г, 8.3.6.2, 8.4.6.1, 8.5.4.3а, 8.5.5.1в, 9.1.3.1е, 9.1.3.2б, 9.3.2.1е, 101.4, 102.1е) приводятся требования оценки и управления рисками для конкретных действий, функций, процессов системы менеджмента качества (далее – СМК). Как известно, оценки любых показателей, действий, в том числе рисков, могут быть как количественные, так и качественные. В [1] не регламентировано, какова должна быть оценка. При этом, однако, предлагается учитывать принципы и рекомендации, приведенные в [2].

Следует также иметь в виду, что менеджмент рисков является составной частью системы менеджмента качества предприятий и организаций радиоэлектронной отрасли (далее – Организация).

**Основная часть**

Однако, как следует из опыта проведения аудитов СМК Организаций, аккредитации испытательных лабораторий (далее – ИЛ), да и квалификации поставщиков ЭКБ и материалов, не говоря уже о сертификации СМК Организаций на соответствие требованиям ГОСТ РВ 0015-002-2020, ГОСТ Р ИСО 9001-2015, реализация этого требования в большинстве случаев носит формальный характер, практически не влияющий на деятельность подразделений и Организации в целом.

Последовательность действий по управлению (менеджменту) рисками можно представить в виде алгоритма (ряда последовательных процедур):

1. Определение (идентификация) на основе анализа факторов внешней и внутренней среды возможных рисков



Винокуров А.В.



Алексеева Т.И.



Зайцева Ю.А.

Р и угроз по видам деятельности (процессам Системы менеджмента качества) и формирование Реестра рисков (Перечня) [3];

2. Определение по пятибальной шкале вероятности возникновения (появления)  $k$ -того риска –  $P_k$  и величины возможных потерь от его наступления –  $I_k$ ;

3. Определение уровня  $k$ -того риска  $R_k$  по формуле

$$R_k = P_k \cdot I_k,$$

его значение может находиться в пределах от 1 до 25;

4. Полученное значение уровня  $k$ -того риска  $R_k$  сравнивается с Индексами риска (Недопустимые от 12 до 25, Оправданные от 5 до 11, Приемлемые от 1 до 4);

5. Обработка рисков осуществляется в соответствии с их значением: в первую очередь – недопустимые, затем – оправданные, в последнюю и при необходимости – приемлемые. Обработка  $k$ -того риска ( $R_k$ ) заключается в разработке коррекций и корректирующих действий, направленных на исключение (в идеале) или снижении до приемлемого уровня (см. п. 4 алгоритма) его значений и последующего периодического мониторинга его значения.

При реализации этого алгоритма возникает ряд трудностей, обусловленных целым рядом неопределенностей, возникающих из-за значительного объема экспертных оценок и их достоверности. Так, на первом этапе – это выбор возможных рисков, на втором – определение величин  $P_k$  и

$I_k$ , на пятом – определение достаточных и адекватных корректирующих действий и принятие решений о дальнейших действиях.

В большинстве Организаций первый этап завершается разработкой утвержденного руководством Реестра рисков, как правило, довольно объемного (может содержать от нескольких десятков до 2-х сотен рисков), актуализируемого раз в год и практически невостребованного для повседневной работы. Эта работа, тоже, как правило, поручается Службе качества и о существовании Реестра рисков большинству работников Организации и даже тем, кто практически сталкивается с этой проблемой, неизвестно.

Второй этап, по нашему мнению, наиболее важный из всех, выполняется зачастую исполнителями, не связанными с реальными оценками величин  $P_k$  и  $I_k$ . Он наиболее труден и ответственен, если следовать в процедуре управления рисками в соответствии с вышеприведенным алгоритмом.

Третий и четвертый этапы алгоритма чисто вычислительные и не представляют сложностей для исполнителей.

Пятый этап алгоритма в определенной степени сложен и ответственен, если второй выполнен квалифицированно, поскольку он может быть связан с привлечением дополнительных ресурсов и решениями по выполняемым работам.

Между тем известно, что повсеместно в Организациях на всех уровнях управления проводятся оперативные совещания, которые, в основном, посвящаются анализу и предупреждающим действиям по конкретным работам (выполнению контрактов и договоров, этапов работ, оказанию услуг и т. д.), где, не прибегая к терминологии, положениям и рекомендациям теории и практики рисков, практически рассматривают факторы (а по сути – возможные риски), препятствующие или затрудняющие качественное и своевременное выполнению рассматриваемых работ. Решения этих оперативных совещаний конкретны в части выбранным мероприятиям, ответственности исполнителей, контроля выполнения. Единственное, чего там нет, так это понятий «риск».

Исходя из выше изложенного и не касаясь обязательных требований, приведенных в [1-3], можно сформулировать ряд предложений по менеджменту (управлению) рисков:

– в Организации должны быть определены ответственность и полномочия по менеджменту (управлению) риска-

ми, в частности, это касается второго этапа алгоритма менеджмента рисков и требований;

– в документах оперативных совещаний по ходу выполнения различных работ и их этапов должны быть упомянуты конкретные риски, которые рассматривались и по которым были приняты и запротоколированы вербальные оценки и соответствующие решения (коррекции и корректирующие действия).

По результатам количественных оценок рисков, осуществленных владельцами процессов, с привлечением специалистов, непосредственно выполняющих функции (действия) по этим процессам, должен быть осуществлен менеджмент рисков этих процессов (частей процессов), оценки которых относятся к категории недопустимых и оправданных.

С целью повышения достоверности количественных оценок рисков можно также наряду с вербальными оценками использовать имеющиеся статистические данные. Так, для оценки вероятности возникновения (появления)  $k$ -того риска –  $P_k$ , относящегося к конкретному событию (например, задержка оплаты за выполненную Организацией работу по договору, контракту) следует определить отношение числа зафиксированных случаев задержек оплаты к общему числу выполненных договоров, контрактов, их этапов за возможно длительный период, скажем – от трех лет. Полученный результат можно использовать для уточнения при оценке  $P_k$ . Что касается величины возможных потерь от наступления риска  $I_k$ , то его оценка должна осуществляться финансово-экономической службой Организации.

### Заключение

Рассмотренные выше предложения по реализации требований и оформлению результатов менеджмента (управления) рисками позволят улучшить работы по управлению рисками.

### Литература

1. ГОСТ РВ 0015-002-2020 «Система разработки и постановки на производство военной техники. Системы менеджмента качества. Требования».
2. ГОСТ Р ИСО 31000-2019 «Менеджмент риска. Принципы и руководство».
3. ГОСТ Р 51901.22-2012 «Менеджмент риска. Реестр риска. Правила построения».

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И ТРЕБОВАНИЯ К ПОРЯДКУ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫЕЗДНЫХ ПРОВЕРОК  
КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ ПОСТАВЩИКОВ ЭКБ**

**METHODOLOGICAL RECOMMENDATIONS AND REQUIREMENTS FOR THE PROCEDURE FOR CONDUCTING  
ON-SITE INSPECTIONS OF QUALIFIED ECB SUPPLIERS**

**Подъяпольский С.Б.**, к. т. н., **Булгаков О.Ю.** к. воен. н., ФГБУ «ВНИИР»; +7 (985) 725-73-68, psb@vniir-m.ru

**Podyapolsky S.B.**, Candidate of Technical Sciences, **Bulgakov O.Yu.**, Ph.D. of military sciences,  
FSBI «VNIIR»; +7 (985) 725-73-68, psb@vniir-m.ru

**Аннотация:** В статье предложен подход к проведению работ по организации проверки функционирования системы менеджмента качества и выполнения специфических функций к организациям, осуществляющим обеспечение комплектации радиоэлектронной аппаратуры электронной компонентной базой.

**Annotation:** The article proposes an approach to carrying out work on the organization of verification of the functioning of the quality management system and the performance of specific functions for organizations providing electronic component base equipment for radio-electronic equipment.

**Ключевые слова:** радиоэлектронная аппаратура, электронная компонентная база, подтверждение соответствия, квалифицированный поставщик, система менеджмента качества, входной контроль.

**Keywords:** electronic equipment, electronic component base, conformity assessment, qualified supplier, quality management system, entrance control.

### Введение

Методические рекомендации и требования к порядку проведения выездных проверок квалифицированных поставщиков электронной компонентной базы (далее – ЭКБ) ориентированы на деятельность сотрудников Системы добровольной сертификации «Электронсерт» (далее – Система), органов по сертификации систем менеджмента, органов по сертификации продукции, учебных центров, консалтинговых организаций и экспертов при подготовке, переподготовке, повышении квалификации, аттестации, переекспертации и организации работ экспертов Системы.

Методические рекомендации и требования разработаны на основе и в соответствии с нормативными правовыми актами Российской Федерации в области технического регулирования и руководящими документами Системы.

### Основная часть

Основными функциями и областью деятельности квалифицированных поставщиков ЭКБ является закупка, хранение и поставка потребителям ЭКБ (ЭКБ отечественного производства, ЭКБ СНГ, ЭКБ иностранного производства, специализированной ЭКБ) требуемого уровня качества для комплектации радиоэлектронной аппаратуры специального назначения, в том числе в рамках выполнения государственных заданий, с выполнением гарантийных обязательств по срокам, объему и комплектности поставок, по соответствию заявленной изготовителем ЭКБ технической и иной информации, соблюдению условий конфиденциальности, установленных потребителем [1-3].

Задачами квалификации поставщиков ЭКБ являются:

- подтверждение соответствия системы менеджмента качества (далее – СМК) организации требованиям, изложенным в [1-3];
- определение результативности функционирования



Подъяпольский С.Б.



Булгаков О.Ю.

СМК для обеспечения соответствия качества закупаемой и поставляемой продукции установленным требованиям заказчика;

- повышение эффективности конкурсного отбора исполнителей и выполнения работ по заданиям;
  - содействие заказчиком в компетентном выборе разработчиков, изготовителей и поставщиков продукции (работ и услуг);
  - подтверждение возможности организации стабильно осуществлять поставки продукции требуемого качества в предусмотренные сроки и в запланированных объемах в соответствии с договорами [4];
  - создание условий для обеспечения свободного перемещения товаров по территории Российской Федерации, а также для осуществления международного экономического, научно-технического сотрудничества и международной торговли.
- Добровольное подтверждение соответствия требованиям, изложенным в [1-3], осуществляется по инициативе заявителя на условиях заключения имеющего юридически значимого договора между заявителем и ФГБУ «ВНИИР».
- Квалификация поставщика ЭКБ может проводиться:
- по инициативе организации-заявителя;

– на основании мотивации со стороны государственного заказчика ГОЗ или ГЗ (например, в случае включения в государственный контракт требования о наличии Свидетельства о квалификации);

– на основании мотивации со стороны потребителей или головных исполнителей ГОЗ.

Область квалификации поставщика ЭКБ должна соответствовать классификационным группировкам номенклатуры ЭКБ, а также соответствующим классам (группам) ЕК 001, на которые распространяется действие Сертификата соответствия СМК.

При подтверждении соответствия организации требованиям, изложенным в [2, 3], заявителю выдается Свидетельство о квалификации поставщика ЭКБ, в Реестр Системы заносятся соответствующие сведения. При не подтверждении соответствия организации установленным требованиям – направляется мотивированный отказ.

С учетом задач, возлагаемых на поставщика в области взаимодействия с потребителями и изготовителями для оптимизации организации комплексных закупок и распределенной системы поставок ЭКБ, важнейшее значение приобретает проведение проверки правильности выполнения всех установленных требований на месте дислокации организации [3].

Проведение работ по оценке соответствия организации квалификационным требованиям непосредственно у заявителя, предусматривает:

– проведение работ по проверке заявителя на соответствие требованиям настоящего документа в рамках утвержденного Плана проверки;

– подготовка Акта работы экспертной комиссии (далее – ЭК);

– организацию и проведение заключительного совещания.

При проведении проверки в обязательном порядке должна быть обеспечена возможность контроля идентификации и прослеживаемости выполнения всех процедур от получения заявки на поставку до отгрузки изделий потребителю.

Несоответствия, выявленные ЭК в процессе проверки, регистрируются в Протоколах регистрации несоответствий (Приложения Н [3]) с указанием конкретного пункта нормативного документа.

– ЭК должна установить наличие у организации-заявителя электронной базы, содержащей фотографии ЭКБ на этапах проведения входного контроля. База входного контроля должна содержать следующие данные:

– фотографии каждой единицы групповой (индивидуальной) тары;

– фотографии одного образца каждого типа (типоминала) ЭКБ из каждой партии;

– в случае обнаружения повреждений продукции отдельное фотографирование каждой единицы изделия, имеющей несоответствие.

Организация-заявитель вправе вести базу входного контроля в удобной для себя форме, установленной в документах СМК. Возможны следующие варианты ведения базы:

– хранение фотографий изделий в папках на удаленном сервере, при этом должна определяться идентификация изделий по типу (типоминалу), номере партии (при наличии), дате проведения входного контроля;

– в случае ведения журнала учета результатов входного контроля в электронном виде в программах складского и бухгалтерского учета, Excel – таблицах и др. подкрепление фотографий изделий к конкретной записи о результатах проведенного контроля изделий;

– другие варианты хранения фотографий изделий, установленные организацией-заявителем.

При проведении входного контроля изделий, поступивших в организацию, служба контроля качества (служба качества) должна осуществлять проверку ЭКБ на наличие (отсутствие) признаков контрафакта. В организации должна быть разработана документированная процедура по противодействию поставкам контрафактной ЭКБ, в которой необходимо установить порядок проведения мероприятий по идентификации изделий и проверки наличия признаков контрафакта. Документы, содержащие результаты входного контроля, должны включать результаты проверки изделий на наличие признаков контрафакта [5].

В случае ведения бумажных записей о результатах проведения входного контроля должны быть идентифицирующие подписи ответственных лиц за проведение входного контроля. В случае ведения электронных записей о результатах проведения входного контроля должны быть иные способы идентификации сотрудников, ответственных за проведение входного контроля, в том числе электронные подписи. Защита документированной информации, указываемой в электронных журналах, может производиться путем установления паролей и прав по внесению изменений в документацию за определенными должностными лицами.

### Заключение

Таким образом, изложенные в статье основные методические рекомендации для выполнения требований, изложенных в [1, 2, 3], позволят организации поставщику ЭКБ обеспечить достоверность и прослеживаемость поставки продукции потребителям и позиционировать себя, как добросовестного, в прямом смысле этого слова, квалифицированного поставщика ЭКБ.

### Литература

1. ГОСТ РВ 0015-002-2020 «Система разработки и постановки на производство военной техники. Системы менеджмента качества. Требования».
2. ЭС РД 009-2023 «Дополнительные требования к системе менеджмента качества организаций-поставщиков электронной компонентной базы военного и двойного назначения».
3. ЭС РД 010-2020 «Требования к поставщикам электронной компонентной базы и порядок их квалификации».
4. Булгаков О.Ю. Методика выбора квалифицированных поставщиков электронной компонентной базы. «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения» № 4 2021, стр. 31-37.
5. Булгаков О.Ю., Подьяпольский С.Б. Одна из методик оценки качества функционирования СМК поставщиков ЭКБ. «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения» № 3 2021, стр. 18-21.

**МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СТОИМОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ СРАВНЕНИИ  
АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ РАЗВИТИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

**METHODOLOGICAL APPROACH TO ASSESSING COST INDICATORS WHEN COMPARING  
ALTERNATIVE OPTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF ROCKET AND SPACE EQUIPMENT**

**Милосердов С.С.**, к. т. н., **Пестун У.А.**, к. э. н., Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА); +7 (926) 716-21-18, ulun2015@yandex.ru

**Хиль С.Ш.** к. т. н, доцент, **Эпенетосский В.Б.**, к. т. н, с. н. с.; ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России; +7 (916) 252-91-14

**Miloserdov S.S.**, Ph.D., **Pestun U.A.**, Ph.D., Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “MIREA – Russian Technological University”; +7 (926) 716-21-18, ulun2015@yandex.ru

**Khil S.Sh.** Ph.D., **Epenetosky V.B.**, Ph.D.; FSBI “46 Central Research Institute” of the Russian Ministry of Defense; +7 (916) 252-91-14

**Аннотация.** В статье разработана методика расчета стоимостных показателей при сравнительной оценке альтернативных вариантов развития ракетно-космической техники. Предложена целевая функция, позволяющая учитывать: различие в сроках службы образцов ракетно-космической техники; падение эффективности образцов ракетно-космической техники; влияние годовых объемов производства образцов ракетно-космической техники. Результаты, полученные с применением данной методики, могут быть использованы на этапах подготовки проектов федеральной космической программы, а также при подготовке и проведении опытно-конструкторской работ по созданию образцов ракетно-космической техники.

**Annotation.** The article develops a methodology for calculating cost indicators in the comparative assessment of alternative options for the development of rocket and space technology. An objective function is proposed that allows taking into account: the difference in the service life of rocket and space technology samples; the decline in the effectiveness of rocket and space technology samples; the impact of annual production volumes of rocket and space technology samples. The results obtained using this technique can be used at the stages of preparation of projects of the federal space program, as well as during the preparation and conduct of experimental design work on the creation of samples of rocket and space technology.

**Ключевые слова:** ракетно-космическая техника, стоимостные показатели, эффект, вариант развития, полные затраты.

**Keywords:** rocket and space technology, cost indicators, effect, development option, total costs.



Милосердов С.С.



Пестун У.А.



Хиль С.Ш.



Эпенетосский В.Б.

### Введение

При исследованиях по обоснованию целевых программ развития ракетно-космической техники (далее – РКТ) проводится сравнительный анализ альтернативных вариантов развития РКТ. Поэтому возникает необходимость в выборе научно-обоснованного способа решение этой задачи. Так, в настоящее время сравнительный анализ альтернативных вариантов развития РКТ проводится в основном по критерию «эффективность-стоимость». Однако важно в этой системе показателей выбрать наиболее обоснованную целевую функцию, учитывающую наиболее приоритетные факторы характерные для РКТ. В этой связи тема данной статьи является актуальной.

### Основная часть

#### Постановка задачи

При сравнительной оценке варианта развития образцов РКТ, одной из главных научных и организационных проблем является разработка целевой функции, позволяющей проводить их объективную оценку и сравнение и способной учитывать все специфические особенности, присущие РКТ.

Требуется определить такой способ сравнения альтернативных вариантов развития РКТ, который позволит учитывать различие в сроках службы образцов РКТ, входящих в вариант развития, падение эффективности образцов РКТ и влияние годовых объемов производства образцов РКТ.

**Решение задачи**

При прямой постановке задачи, когда фиксирован уровень эффекта ее выполнения и требуется выявить такой вариант развития РКТ, который обеспечивает этот уровень с наименьшими затратами, особое значение имеет определение минимизируемого показателя (целевой функции). В качестве целевых используются функции, рассчитанные на основе: предстоящих полных затрат на этапы жизненного цикла образца за период планирования целевой программы; предстоящих полных затрат, приходящихся на единственный образец; предстоящих среднегодовых затрат.

Целевая функция  $S$ , рассчитанная на основе предстоящих полных затрат на этапы жизненного цикла, равна:

$$\min S = \sum_{i \in I} \xi_i S_i \sum_i \xi_i (C_{рази} + C_{нpi} + C_{экси}) \quad (1)$$

где  $I$  – количество типов РКТ, рассматриваемых в вариантах развития:

$$\xi_i = \begin{cases} 0 & \text{– если } i \text{ – тип РКТ не включен в вариант развития целевой программы;} \\ 1 & \text{– в противном случае;} \end{cases}$$

$C_{рази}, C_{нpi}, C_{экси}$  – соответственно затраты на разработку, производство и эксплуатацию данного типа РКТ, приходящиеся на период планирования целевой программы;

$S_i$  – предстоящие полные затраты на жизненный цикл образца РКТ  $i$  – го типа.

Ограниченность периода планирования может привести к несоответствию затрат, связанных с созданием данной РКТ, и получаемого эффекта. Для некоторых типов РКТ может возникнуть ситуация, когда большая часть затрат совершается в период планирования, а основная часть эффекта проявится только за его границами. Использование целевой функции (1) ставит в положение, невыгодное для сравнения, новые образцы РКТ, выпуск которых намечается в конце периода планирования, по сравнению с находящимися на снабжении образцами РКТ, затраты на которые складываются только из затрат на эксплуатацию, или с более дешевыми, но обладающих худшими характеристиками или меньшим сроком службы.

Второй способ расчета целевой функции основан на использовании полных затрат, приходящихся на единственный образец РКТ, который наряду с уже присущими недостатками (1) приводит к дополнительной погрешности в определении реальных затрат, осуществляемых в период планирования. Эта погрешность связана с тем, что в показатель предстоящих полных затрат на единственный образец входит фиксированное время  $T_i$ , которое характеризует срок службы образца РКТ в периоде планирования и которое неодинаково для образцов, выпускаемых в различное время. Эта погрешность равна:

$$\Delta_i = 0,5 t_{выпi} N_i C_{эi},$$

где  $t_{выпi}$  – длительность выпуска образцов  $i$  – го типа;  
 $N_i$  – планируемый объем выпуска образцов  $i$  – го типа в период планирования;  
 $C_{эi}$  – затраты на эксплуатацию  $i$  образца.

Указанным недостатком обладают и все другие показатели, которые используют в своей основе полные затраты, приходящиеся на единственный образец РКТ.

Третий подход к формированию целевой функции основан на использовании среднегодовых полных затрат:

$$\min S = \sum_i \xi_i \frac{S_i}{T_{сли}} T_i \quad (2)$$

где  $S_i$  – предстоящие полные затраты на жизненный цикл образца РКТ  $i$  – го типа;

$T_{сли}$  – срок службы образца до снятия с эксплуатации;

$T_i$  – планируемое фиксированное время, которое характеризует срок службы образца РКТ в периоде планирования.

Использование данного показателя позволяет в определенной мере учесть разницу в сроках службы образцов РКТ различных типов путем приведения затрат к одному году службы и определения их величины, приходящиеся на период планирования. Вместе с тем, следует отметить, что в целевой функции (2) используются два довольно сильных допущения – все образцы РКТ выпущены одновременно ( $T_{вып} = 0$ ), и эффективность образцов со временем не изменяется (пояснение приведено ниже при обосновании целевой функции, использующей в своей основе стоимость единицы эффекта), что может приводить к ошибочным выводам, так как в реальных условиях достигнутое значение показателя эффективности образца РКТ со временем имеет тенденцию к уменьшению.

В этих условиях предлагается методический подход сравнения вариантов развития РКТ, позволяющий учитывать как различие в сроках службы образцов РКТ, входящих в вариант развития, так и падение эффективности образцов РКТ, а также влияние годовых объемов производства образцов РКТ.

Для упрощения пояснений будем считать, что эффективность единичного образца РКТ в данной группировке со временем будет падать равномерно (см. рис. 1, график «а»):

$$\mathcal{E}_t = \mathcal{E}_0 e^{-r(t-t_0)},$$

где  $\mathcal{E}_0, \mathcal{E}_t$  – эффективность образца РКТ в момент времени  $t_0$  и  $t$  соответственно;

$r$  – темп падения эффективности.

Создаваемый эффект группировки однотипных образцов РКТ в каждый момент определяется (см. рис. 1, график «б») как

$$\mathcal{E}_{rt} = N(t) \mathcal{E}_0 e^{-r(t-t_0)}. \quad (3)$$

Введем понятие интегрального эффекта, равного площади под кривой АБВГД (см. рис. 1, график «в»), тогда показатель

$$Z_i = \frac{S_i}{\mathcal{E}_{i\Sigma}} \mathcal{E}_{i\Sigma n_i} \quad (4)$$

будет отражать стоимость эффекта, создаваемого в период планирования группировкой образцов РКТ  $i$ -го типа. В выражении (4)  $\mathcal{E}_{i\Sigma}$  – интегральный эффект, создаваемой группировкой образцов РКТ  $i$ -го типа;

$\mathcal{E}_{i\Sigma_{пл}}$  – интегральный эффект в периоде планирования, равной площади под кривой АБВГД (см. рис. 1, график «в»);

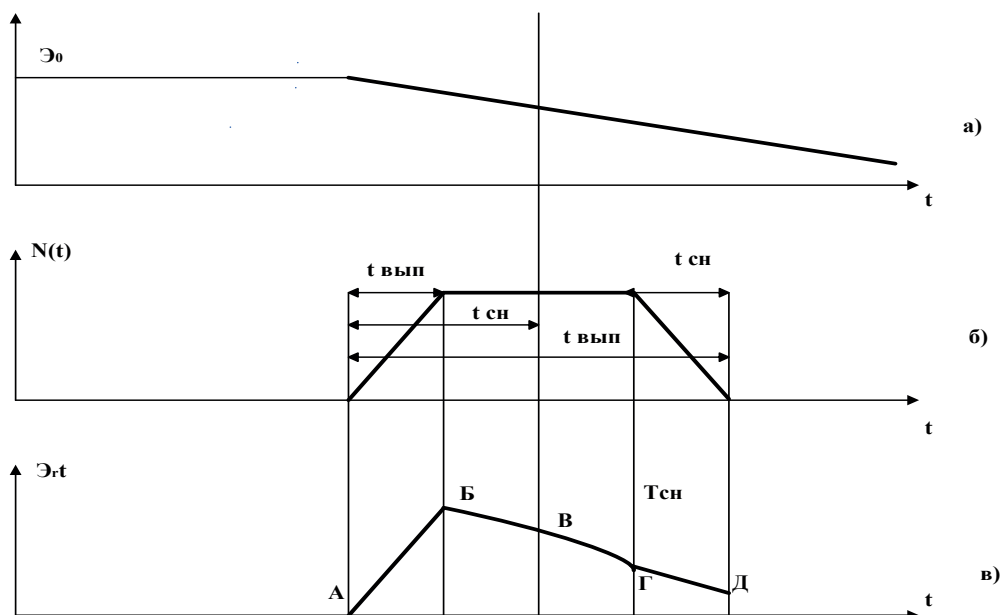


Рис. 1 – Определение интегрального эффекта группировки  
(а – падение эффективности единичного образца РКТ;  
б – изменение количества однотипных образцов во времени;  
в – интегральный эффект группировки)

Целевая функция при этом будет иметь вид

$$\min Z = \sum_i \xi_i \frac{S_i}{\mathcal{E}_{i\Sigma}} \mathcal{E}_{i\Sigma_{пл}}$$

Определив  $\mathcal{E}_{i\Sigma}$  и  $\mathcal{E}_{i\Sigma_{пл}}$  и используя разложение экспоненты в ряд, получим:

$$\min Z = \sum_i S_i \frac{t_{нл} - 0,5(t_{вын} + r_i t_{нл}^2) - 0,167(r_i t_{вын}^2 - r_i^2 t_{нл}^3)}{(t_{ei} - t_{вын})(1 - 0,5r_i t_{ei})}$$

Анализируя выражение (5), необходимо отметить:

– при снятии образца РКТ с эксплуатации в периоде планирования  $Z_i$  равно  $S_i$ ;

– при  $r_p$  равном 0, и  $t_{вын}$ , равном 0, т. е. при отсутствии снижения эффективности образца РКТ и моментальном его производстве,

$$Z_i = S_i \frac{t_{нл}}{t_{ei}}$$

С учетом вышесказанного целевую функцию (5) можно представить в виде:

$$\min Z = \sum_{j \in J} \xi_j S_j + \sum_{k \in K} \xi_k \frac{S_k}{\mathcal{E}_{k\Sigma}} \mathcal{E}_{k\Sigma_{пл}}, \quad (6)$$

где  $J$  – количество типов РКТ в рассматриваемом варианте развития, жизненный цикл которых заканчивается в периоде планирования;

$K$  – количество типов РКТ, снимаемых с эксплуатации за границами периода планирования.

### Заключение

Таким образом, целевая функция (6) позволяет учитывать различие в сроках службы образцов РКТ, входящих в вариант развития, падение эффективности образцов РКТ и влияние годовых объемов производства образцов РКТ. При этом целевые функции (1) и (3) являются частным случаем функции (6).

### Литература

1. Видулов С.Ф., Жуков Г.П. Военно-экономический анализ и исследований операций. – М.: Воениздат, 1987. – 440 с.
2. Буренок В.М., Ляпунов В.М., Мудров В.И. Теория и практика планирования и управления развитием вооружения. Под ред. Московского А.М. – М.: Вооружение. Политика. Конверсия, 2004. – 419 с.
3. Буренок В.М., Лавринов Г.А., Хрусталева Е.Ю. Механизмы управления производством продукции военного назначения. – М.: Наука, 2006. – 303 с.
4. Военная экономика: управление, планирование, военно-экономическая безопасность / Под ред. Сумина А.С., Арпина Ю.И. – М.: ВИМИ, 1995. – 183 с.
5. Буренок В.М., Мельников И.Д., Лавринов Г.А. Качество Государственной программы вооружения: проблемы и пути их решения // Военная мысль. – 2002. – № 2. – С. 61 – 65.



**ПЕРЕЧЕНЬ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ  
«РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ» В 2023 ГОДУ**

ФИО, название статьи	номер	страница
<b>КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТИ</b>		
<i>Милосердов С.С., Матюхин Д.В.</i> Проблемные вопросы оценки технического уровня изделий электронной компонентной базы на этапе разработки	1(9)	18
<i>Петров А.С.</i> Воздействие ионизирующих излучений на вакуумные коммутрующие устройства	1(9)	22
<i>Евстигнеев А.А., Самойленко С.В.</i> Наиболее распространенные причины возникновения ошибочных результатов измерений на примере параметрического контроля регуляторов напряжения	1(9)	25
<i>Журиков Р.Н., Душкин Ю.В., Невмывака А.Н.</i> Дополнительные аспекты оценки соответствия требованиям надёжности высоковольтных кабельных изделий	1(9)	29
<i>Синельников Ю. Г., Рыбаков А.К., Долгополов В.Г.</i> О возможном методе получения значений вероятностных показателей безотказности при заданном показателе наработки до отказа	2(10)	12
<i>Быканов В.В., Есакова М.М., Тупицина А.В., Кремнева А.В.</i> Установление и реализация метрологических требований в процессе создания руководящих документов по метрологическому обеспечению разработки электронной компонентной базы	2(10)	14
<i>Рубцов Ю.В.</i> Результаты исследования и разработки подходов к применению электромагнитной левитационной направляющей для использования в компьютерных системах визуальной оценки качества изделий микроэлектроники	3(11)	32
<i>Богатырёв Ю.В., Огородников Д.А., Божаткин В.А., Зайцев В.Б.</i> Воздействие ионизирующего излучения на параметры микросхемы стабилизатора напряжения отрицательной полярности	4(12)	25
<i>Амеличев В.В., Кадочкин А.С., Генералов С.С., Горелов Д.В.</i> Исследование влияния конструктивных факторов логических элементов на их функционирование для перспективных интегральных оптических микросхем	4(12)	29
<i>Бондаренко А.С., Аскерко А.Н.</i> Применение сканирующей электронной микроскопии в задачах анализа отказов полупроводниковых приборов	4(12)	35
<b>ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b>		
<i>Колядин А.И., Чупринов А.А., Невмывака А.Н.</i> Информационное обеспечение задач синтеза РЭА в радиоэлектронной отрасли (часть 2)	1(9)	37
<i>Колядин А.И., Подъяпольский С.Б.</i> Вопросы оцифровки технических характеристик электронных компонентов, заданных функциональными зависимостями	2(10)	36
<i>Воронцов В.Л., Давыдов И.А.</i> Концепция развития систем информационно-телеметрического обеспечения отработки средств выведения	3(11)	24
<b>РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ</b>		
<i>Редька А.В., Иванов К.А., Давлятшина А.А.</i> Алгоритм реализации конструктивной блочной геометрии (csg) на прямоугольных параллелепипедах, удаление невидимых линий и граней в невыпуклых многогранниках, подключение прозрачности при заливке цветом	1(9)	2
<i>Лычагин А.Ю.</i> Моделирование схемотехники приемопередающего модуля системы дистанционного зондирования Земли X-диапазона космического базирования с определением целевых характеристик	1(9)	6
<i>Жульмина М.Д., Душкин Ю.В., Невмывака А.Н.</i> О возможности применения безгалогенных полимерных материалов отечественного производства для судовых герметизированных кабелей	1(9)	10
<i>Воробьева Е.Г., Москалец О.Д., Шведов А.В.</i> Измерительные сигналы и их обработка в спектроскопической системе контроля двигательных установок летательных аппаратов и в многоальтернативной системе автоматического управления	1(9)	14

ФИО, название статьи	номер	страница
<i>Бурцев Ю.В., Лычагин А.Ю.</i> Комбинированная калибровка радиолокаторов с синтезированной апертурой космического базирования	2(10)	4
<i>Винокуров А.В., Алексеева Т.И., Зайцева Ю.А.</i> К вопросу об оценке правомочности предыдущих результатов измерений	2(10)	9
<i>Башкатов А.С., Корнилов С.В., Морозова О.Н., Певчих К.Э., Светиков В.В.</i> Состояние и потенциал развития фотонных интегральных схем на фосфиде индия, ниобате лития и кремнии	3(11)	2
<i>Митин Е.В., Семутенко Ю.Н., Гридасов Л.В.</i> Отказы МОП-транзисторов при облучении тяжелыми ионами	3(11)	11
<i>Быканов В.В., Есакова М.М., Тупицина А.В., Кремнева А.В., Косач А.С.</i> Вопросы метрологического обеспечения нестандартного испытательного оборудования (испытательных стендов) в процессе разработки на предприятиях радиоэлектронной промышленности	3(11)	16
<i>Голубков В.А., Мельников С.Ю., Федоренко А.Г., Зотов Н.А.</i> Диагностика дефектов трубчатых керамических конденсаторов	4(12)	14
<i>Мещанов В.П., Саяпин К.А., Семенчук В.В.</i> Синтез многоэлементных фиксированных фазовращателей в микрополосковом исполнении	4(12)	17
<i>Гагарина А.Ю., Кукушкина О.В., Сашин Д.И., Смирнова Т.Н.</i> Исследование зависимости разрядных характеристик положительного окисноникелевого электрода от способа внесения активной массы в пористую основу электрода	4(12)	20
<b>СЕРТИФИКАЦИЯ, АТТЕСТАЦИЯ, КВАЛИФИКАЦИЯ</b>		
<i>Булгаков О.Ю., Лепешкин А.В., Осипова Е.М.</i> Особенности оценки соответствия гражданской продукции в современных условиях	1(9)	34
<i>Гридасов Л.В., Семутенко Ю.Н., Краснокутский С.А.</i> Повышение эффективности внутреннего аудита испытательной лаборатории за счет использования чек-листов	2(10)	32
<i>Булгаков О.Ю., Лепешкин А.В., Осипова Е.М.</i> Совершенствование системы оценки соответствия и подтверждения качества электронной продукции	2(10)	28
<i>Булгаков О.Ю., Колядин А.И.</i> Международный военно-технический форум «АРМИЯ-2023». Круглый стол Российского института стандартизации «Формирование фонда ДСОП, работа головных организаций по стандартизации оборонной продукции в переходный период. Актуальные вопросы и пути решения»	3(11)	2 (обложка)
<i>Подъяпольский С.Б., Булгаков О.Ю.</i> Выставка «Электроника России». Круглый стол «Стандартизация, метрология и сертификация — инструменты реализации государственной политики развития радиоэлектронной отрасли в современных условиях», 29.11.2023 года.	4(12)	2
<i>Зажигалкин А.В., Булгаков О.Ю., Подъяпольский С.Б.</i> О некоторых подходах к вопросу стандартизации автоэлектроники отечественного производства для автомобильной промышленности	4(12)	4
<i>Быканов В.В., Есакова М.М., Тупицина А.В., Кремнева А.В.</i> Роль и место метрологического обеспечения в повышении качества и эффективности в современных экономических условиях	4(12)	9
<b>ЭКОНОМИКА ОТРАСЛИ</b>		
<i>Дюжакова Л.П., Орехов Д.В.</i> Торгово-экономические аспекты интеллектуальной собственности	2(10)	21
<i>Боков С.И., Пронин А.Ю., Пестун У.А.</i> Новое в программно-целевом планировании развития оборонно-промышленного комплекса	2(10)	24
<i>Боков С.И., Пестун У.А.</i> Подход к моделированию экономических процессов	3(11)	38
<b>ИНФОРМАЦИЯ</b>		
<i>Фёдорова Л.А.</i> Реализация требований постановления Правительства Российской Федерации от 30 апреля 2019 года № 546	2(10)	2
Перечень научных статей, опубликованных в 2022 году	1(9)	3 (обложка)



# ОРБИТА

акционерное общество

**Сенсоры давления**  
**серия ТМ**  
**серия СД**  
**серия СДД**

## ОПИСАНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Основными изделиями, выпускаемыми АО «Орбита» в настоящее время, являются ИЭТ, как для предприятий оборонного комплекса России, так и для гражданского применения.

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) – перспективное направление развития компании. Освоено производство чувствительных элементов, сенсоров, преобразователей и сканеров давления. АО «Орбита» предлагает свои компетенции приборостроительным предприятиям РФ в данном направлении.

Сенсоры давления изготавливаются с использованием кремниевых чувствительных элементов собственной разработки на основе 50-летнего опыта в области микроэлектроники и применяются как для измерения давления агрессивных жидкостей и газов, так и некоррозионных газообразных сред в широком температурном диапазоне.

Тензорезистивные сенсоры позволяют создавать высокоточные преобразователи давления для широкого спектра отраслей промышленности, включая:

- транспорт и приборостроение;
- нефтегазовая, химическая и пищевая промышленности;
- изделия медицинской техники;
- метрологическое оборудование;
- жилищно-коммунальное хозяйство;
- мониторинг окружающей среды.

## ОСОБЕННОСТИ

- Высокая точность 0,15%.
- Широкий температурный диапазон:
  - серия ТМ: от -30 до +125°C;
  - серия СД: от -20 до +125°C;
  - серия СДД: от -20 до +80°C.
- Измеряемые давления:
  - абсолютное, избыточное (серии ТМ и СД)
  - дифференциальное (серия СДД).
- Измеряемый диапазон:
  - серия ТМ: от 0,1 до 25 МПа;
  - серия СД: от 0,1 до 0,6 МПа;
  - серия СДД: от 0,025 до 1,6 МПа.
- Встроенный терморезистор для температурной адаптации (для серии ТМ).
- Исполнение:
  - серии ТМ и СДД: малогабаритный корпус из нержавеющей стали AISI 304, изолирующая диафрагма из нержавеющей стали AISI 316;
  - серия СД: малогабаритный корпус и бюджетное исполнение.



orbita.su



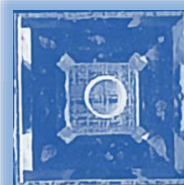
430904, Россия, Республика Мордовия,  
г.о. Саранск, р.п. Ялга, ул. Пионерская, 12



(8342) 25-46-88, 25-41-37



marketing@orbita.su, mems@orbita.su





## ВЧ И СВЧ ПОГЛОТИТЕЛИ РЕЗИСТИВНЫЕ (аттенюаторы)

Входная импульсная мощность **до 10 000 Вт**

Двухнаправленные

Модели с активным охлаждением

Возможность выбора типа соединителей

**SMA, N или тип III**



Оптимальное решение для задач измерения

АО «НПО «ЭРКОН»,  
г. Нижний Новгород  
ул. Нартова, 6



+7 (831) 202-25-52  
gr@erkon-nn.com  
www.erkon-nn.ru