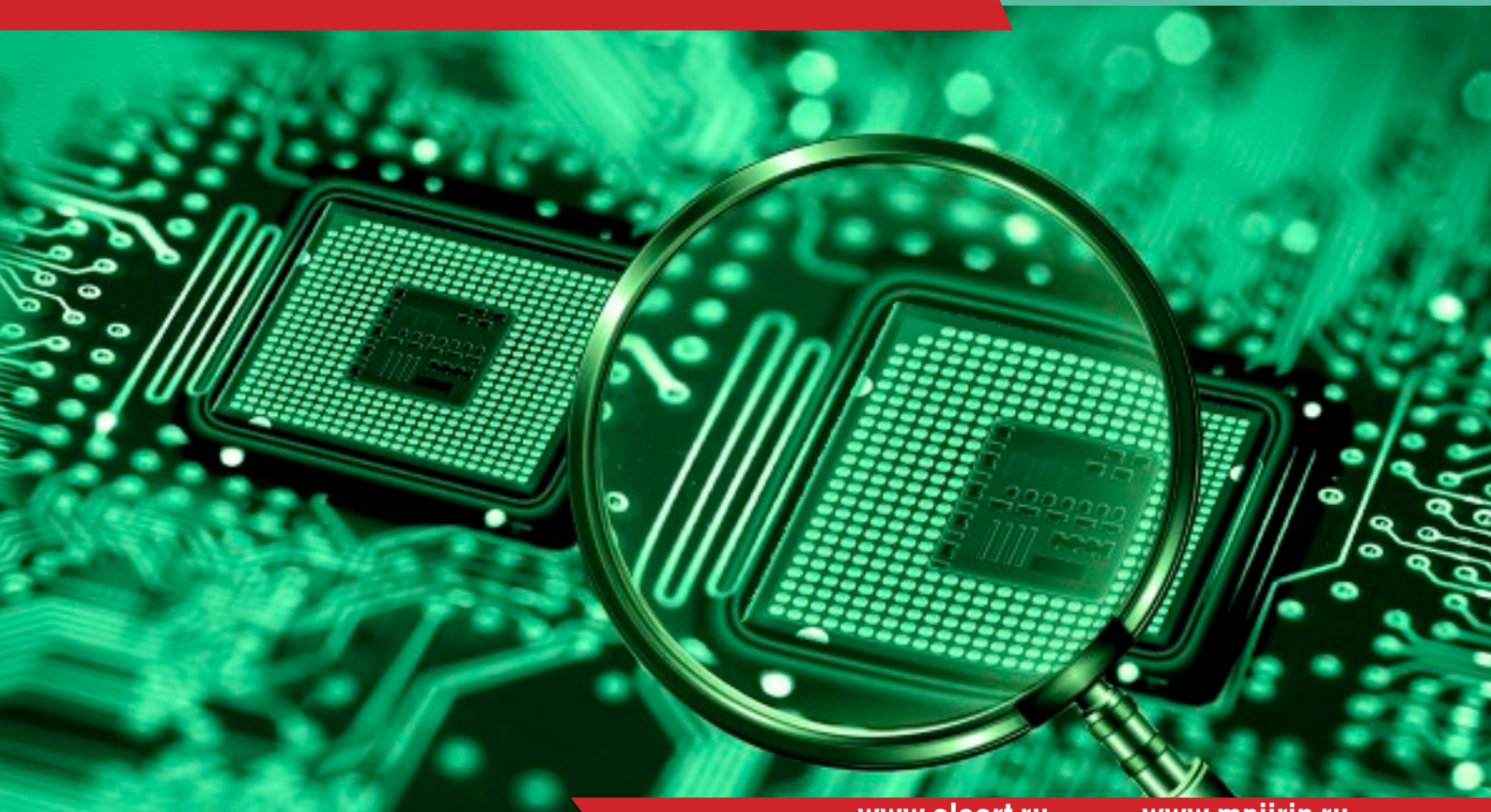


**4**  
**2021**

# РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ



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

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

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**

РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ  
КАЧЕСТВО И НАДЁЖНОСТЬ  
СЕРТИФИКАЦИЯ, АТТЕСТАЦИЯ, КВАЛИФИКАЦИЯ  
ИНФОРМАЦИЯ

АВТОНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
«ЦЕНТР НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, АККРЕДИТАЦИИ И ОБУЧЕНИЯ «КВАЛИТЕТ»

**АНО «ЦЕНТР**

**К**

**КВАЛИТЕТ»**

125124, г. Москва,  
1-я ул. Ямского Поля, д. 19, стр. 1

тел: (499) 251-04-11, (499) 251-10-13, (499) 251-57-24  
факс: (499) 251-10-13, e-mail: [qualitet@aha.ru](mailto:qualitet@aha.ru)  
[www.center-qualitet.ru](http://www.center-qualitet.ru)

### *Уважаемые коллеги!*

**Разработчик государственного военного стандарта ГОСТ РВ 0015-002–2020 «Система разработки и постановки на производство военной техники. Системы менеджмента качества. Требования» – АНО «Центр Квалитет» (лицензия Департамента образования г. Москвы на осуществление образовательной деятельности (№ 036249 от 08.06.2015 г.)**

**приглашает Вас**

**пройти эксклюзивное обучение по программе повышения квалификации: «Обоснование дополнительных требований ГОСТ РВ 0015-002–2020.**

**Практические рекомендации по внедрению требований ГОСТ РВ 0015-002–2020 с учётом требований стандартов СРПП ВТ и методология оценки соответствия СМК организаций-исполнителей ГОЗ».**

Программа обучения предназначена для высшего руководства организаций оборонно-промышленного комплекса, специалистов СМК, внутренних аудиторов СМК, конструкторов (разработчиков), технологов организаций, а также экспертов по сертификации СМК и другого персонала органов по сертификации СМК.

**Даты обучения на нашем сайте <http://www.center-qualitet.ru>**

**Место проведения обучения:**

г. Москва, учебный класс АНО «Центр Квалитет» (4 этаж, комн. 412)  
по адресу: 1-я ул. Ямского Поля, д. 19, стр. 1 (здание – АО «ВНИИ «Эталон»).

**Предусмотрено дистанционное обучение через закрытый канал платформы TrueConf.**

Для подтверждения участия в обучении необходимо направить заполненную заявку на обучение (на сайте <http://www.center-qualitet.ru/> в разделе обучение) на электронную почту [uc@center-qualitet.ru](mailto:uc@center-qualitet.ru) с темой «Заявка на обучение».

На основании регистрационной формы будет выставлен счёт и направлен проект договора.



**АНО «Электронсертифика» совместно с АНО «Центр Квалитет» организует обучение специалистов по Программе повышения квалификации: «Дополнительные требования ГОСТ РВ 0015-002–2020 и особенности требований к СМК организаций разработчиков, изготовителей и поставщиков ЭКБ в СДС «Электронсерт»**

РО Пир 4/2021 (Основан в 2021 году)

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-80418 от 09.02.2021 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  
К. И. Сучков, директор ФГУП «МНИИРИП»  
С. И. Боков, доктор экономических наук  
А. В. Брыкин, доктор экономических наук  
Н. В. Завьялов, доктор физико-математических наук  
В. М. Исаев, доктор технических наук  
Г. Я. Красников, доктор технических наук  
А. С. Сигов, академик РАН  
А. А. Рахманов, доктор технических наук  
В. Б. Стешенко, кандидат технических наук  
В. А. Телец, доктор технических наук  
С. В. Щербаков, кандидат технических наук

### Главный редактор:

О. Ю. Булгаков, заслуженный работник связи РФ,  
кандидат военных наук

### Редакционная коллегия:

А. С. Афанасьев, кандидат технических наук  
В. В. Быканов, кандидат технических наук  
Н. В. Ершова, заместитель директора ФГУП «МНИИРИП»  
М. А. Захарова, член Союза журналистов РФ  
А. П. Зверев, кандидат технических наук  
А. И. Корчагин, кандидат технических наук  
Р. Г. Левин, кандидат физико-математических наук  
С. С. Милосердов, кандидат технических наук  
С. Б. Подъяпольский, кандидат технических наук  
Д. А. Руденко, кандидат военных наук  
Ю. В. Рубцов, директор АО «ЦКБ «Дейтон»  
Л. А. Фёдорова, академик Академии проблем качества

### Редакция:

Е. С. Зубарева, графический дизайнер  
Н. В. Зубарева, редактор  
О. Ю. Гора, корректор

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

Отпечатано

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

Сдано в набор 01.11.2021

Подписано к печати 01.12.2021

Тираж 250 экз.

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

Совместное учреждение и издание Федерального государственного унитарного предприятия «Мытищинский научно-исследовательский институт радиоизмерительных приборов» (ФГУП «МНИИРИП») и Автономной некоммерческой организации «Центр сертификации, обучения и консалтинга «Электронсертифика» (АНО «Электронсертифика»). Журнал выпускается при поддержке Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга РФ и Российского технологического университета – МИРЭА.

## СОДЕРЖАНИЕ

### РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ

*Малышев И. Н., Еремеев Ю. В.* Подгонка сопротивления высоконагруженных СВЧ-аттенуаторов в серийном производстве.....2  
*Некрасова Е. Н., Митин Е. В., Грунин А. В., Голихина Е. А., Ломасов В. Н.* Расчёты энергетических спектров гамма-излучения и мощности кермы в кремнии методом Монте-Карло для гамма-установки К-120000.....5  
*Башкатов А. С., Корнилов С. В., Мещерова Д. Н.* Тенденции развития радиофотоники в Российской Федерации.....9  
*Максимов К. О., Ткачук М. В., Дедюхин А. А.* Определение эквивалентности ионизирующего излучения ускорителя электронов и изотопной установки по результатам испытаний изделий ЭКБ на радиационную стойкость.....12  
*Донсков Р. Е., Тимофеев И. Г., Пустовойт М. В., Мардаровский А. Ф.* Постановка на производство кабельной продукции нового поколения.....16  
*Гридасов Л. В.* Представительность выборки ЭКБ иностранного производства при проведении сертификационных испытаний.....20

### КАЧЕСТВО И НАДЁЖНОСТЬ

*Веденев Ю. З., Булгаков В. О.* Об одном методе прогнозирования показателей сохраняемости электрорадиоизделий.....24  
*Коршунов Г. И., Романец В. И., Зотов Н. А.* Обеспечение качества радиоэлектронной продукции на предприятиях с различными типами организационных структур.....26

### СЕРТИФИКАЦИЯ, АТТЕСТАЦИЯ, КВАЛИФИКАЦИЯ

*Булгаков О. Ю.* Методика выбора квалифицированных поставщиков электронной компонентной базы.....31

### ИНФОРМАЦИЯ

*Зверев А.П., Алексеева Т.И., Зверев В.А.* Использование опор воздушных линий электропередач – наиболее эффективный способ подзарядки БПЛА.....37

**ПОДГОНКА СОПРОТИВЛЕНИЯ ВЫСОКОНАГРУЖЁННЫХ СВЧ-АТТЕНУАТОРОВ В СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

**THE RESISTANCE TRIMMING OF HIGH LOADED MICROWAVE ATTENUATORS IN SERIAL PRODUCTION**

**Мальшев И. Н.**, к. т. н., **Еремеев Ю. В.**, АО «НПО «ЭРКОН»;

+7 (831) 202-24-34, доб. 371, eremeev@erkon-nn-nn.ru

**Malyshev I. N.**, Ph.D. in Engineering Science, **Eremeev Y. V.**; JSC «NPO «ERKON»;

+7 (831) 202-24-34, ext. 371, eremeev@erkon-nn-nn.ru

*В статье описан опыт оптимизации частотно–мощностных характеристик при разработке мощных высокочастотных аттенуаторов с коаксиальными входами в условиях производственного процесса. Дано сравнение технологических способов реализации поглощающих элементов в сопоставлении с выходными характеристиками готовых устройств.*

*The article describes the experience of optimizing frequency–power characteristics in the development of power high–frequency attenuators with coaxial inputs in the production process. A comparison between technological methods for implementing absorbing elements and output characteristics of ready–made devices is given.*

**Ключевые слова:** подгонка, топология, резистор, аттенуатор, эквивалент нагрузки, СВЧ, ослабление, КСВН.

**Keywords:** trimming, topology, resistor, attenuator, load equivalent, microwave, attenuation, VSWR.

В зависимости от диапазона частот и передаваемой мощности для реализации мощных широкополосных СВЧ-аттенуаторов и эквивалентов нагрузок (изделий) используют волноводные, коаксиальные конструкции с объёмными или полосковыми плёночными поглотителями. Данные изделия находят применение в самых широких областях техники СВЧ: измерительном и испытательном оборудовании телекоммуникационной и военной техники, усилителях мощности СВЧ, антенно-фидерных устройствах и др.

Анализ существующих аттенуаторов и эквивалентов нагрузок в диапазоне входной мощности от сотен Вт до единиц кВт и частотном диапазоне от сотен МГц до десятков ГГц показывает, что наиболее оптимальна конструкция с использованием полосковых плёночных поглотителей, размещённых в воздухоохлаждаемом корпусе с коаксиальными входами [1–3].

Для решения проблем широкополосного согласования и рассеяния большой мощности при проектировании изделий необходимо решить ряд порой противоречащих задач. Кроме того, при разработке промышленных изделий необходимо снизить производственные издержки и оптимизировать сложные операции. В статье описано влияние технологических особенностей изготовления плёночных полосковых поглотителей на конечные параметры аттенуаторов и эквивалентов нагрузок.

Частотно-мощностные характеристики аттенуаторов и эквивалентов нагрузок определяют геометрические и электрофизические параметры используемых материалов и структур на их основе. Причём многие параметры требуют выработки приемлемого решения, так как частотные и мощностные характеристики изделий, как правило, находятся во взаимно противоположной зависимости.

Мощные СВЧ-аттенуаторы и эквиваленты нагрузок часто используют в режиме импульсной нагрузки (например, радиолокация), когда пиковая входная мощность может превышать непрерывную в десятки,



Мальшев И. Н.



Еремеев Ю. В.

сотни раз. При использовании плёночных полосковых поглотителей наиболее оптимальной является толстоплёночная технология. Толстоплёночные резистивные интегральные элементы имеют достаточную толщину и теплоёмкость, чтобы рассеять повышенную мощность за время воздействия импульса. В случае рассеяния непрерывной мощности каких-либо технически значимых преимуществ у толстоплёночной технологии нет. Зависимости частотных параметров у толстоплёночных поглотителей не отмечено вплоть до частот 9–10 ГГц. Преимуществом толстоплёночной технологии в приложении к аттенуаторам и эквивалентам нагрузок является и возможность формирования резистивных плёнок с различными удельными поверхностными сопротивлениями в последовательных и параллельных плечах, значительно не отличающихся площадью и коэффициентами формы.

При изготовлении плёночных полосковых поглотителей необходима подгонка интегральных резистивных элементов с целью достижения заданного сопротивления. Существует несколько основных способов подгонки толстоплёночных резистивных элементов:

- термоподгонка (повторное вжигание пасты);
- лазерная;
- механическая (абразивная).

В работе проведён сравнительный анализ данных способов подгонки с точки зрения влияния на частотно-мощностные характеристики изделий, а также оптимальности использования в условиях промышленного производства. Основными критериями оценки качества являются неравномерность ослабления и КСВН в полосе рабочих частот, максимальная удельная мощность и температура перегрева интегральных резистивных элементов.

Первый способ подгонки используют для начальной технологической подстройки удельного поверхностного сопротивления резистивных плёнок после нанесения. Возможности способа ограничены и имеют ряд недостатков, среди которых малая предсказуемость выходных параметров плёнки и ухудшение температурного коэффициента сопротивления (ТКС) с каждым последующим циклом жигания. Достоинством способа является отсутствие внешних разрушающих воздействий на плёнку.

Второй и наиболее распространённый способ подгонки – лазерная подгонка. Способ позволяет получить предсказуемые параметры с удовлетворительной точностью до 0,5 %. Лазерная подгонка имеет ряд преимуществ перед механической:

- высокая производительность;
- возможность автоматизации процесса;
- исключает повреждение близлежащих элементов (контактных площадок и диэлектрической подложки).

Главный недостаток лазерной подгонки: возможность образования микротрещин материала из-за высокого перепада температур в зоне воздействия луча.

Подгонка лазером позволяет изменять топологию интегрального резистивного элемента, либо делая надрезы в нём, либо полностью удаляя область топологии. И тот, и другой способы имеют свои недостатки в случае применения в мощных аттенуаторах и эквивалентах нагрузок.

Любое изменение топологии (и надрезы, и удаление области) приведёт к изменению реактивных сопротивлений в линии передачи и, соответственно, к изменению частотных характеристик изделий. Таким образом, настройка серии промышленных изделий в данном случае затруднена.

Рассматривая мощностные параметры изделий, следует учитывать, что при уменьшении площади резистивной топологии полосковых поглотителей возрастут удельная мощность рассеяния и температура перегрева, снижающие общую надёжность. Кроме того, функционирование в импульсном режиме накладывает дополнительные ограничения к способам подгонки. Например, в случае популярного способа подгонки поперечными надрезами при работе изделий у окончаний надрезов возникают области с повышенной плотностью тока и при больших импульсных мощностях высока вероятность образования теплового пробоя (рис. 1). Началу пробоя также могут способствовать микротрещины, образующиеся от воздействия излучения лазера.

Дополнительным негативным эффектом лазерной подгонки в описываемом случае является то, что мощные резистивные интегральные элементы, как правило, изготавливают с использованием

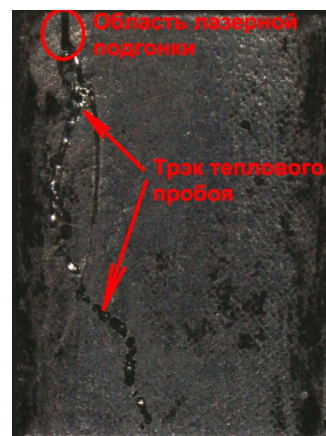


Рис. 1. Тепловой пробой резистивной плёнки с лазерной подгонкой при воздействии мощного импульса

керамических подложек из нитрида алюминия. Известно, что особенностью лазерной подгонки при использовании данной керамики является восстановление металлического алюминия при высокоэнергетическом воздействии лазерного излучения и появление проводящих участков. В целом, подбором различных щадящих режимов излучения проявление данного эффекта и влияние его на параметры изделий возможно снизить.

Третий способ подгонки: абразивная подгонка. Точность механической подгонки в данном случае 0,1 %. Такой способ является довольно распространённым и также имеет ряд преимуществ перед лазерной подгонкой:

- низкая стоимость оборудования;
- быстрое и лёгкое техническое обслуживание оборудования;
- более «чистые» края области подгонки;
- высокая точность.

Абразивную подгонку можно разделить на два подвида:

- подгонка удалением области;
- подгонка снятием резистивного слоя по толщине.

В первом случае в определённой области резистивный слой снимается до диэлектрической подложки, при этом изменяются геометрические размеры и форма топологии. Смещением области подгонки относительно оси симметрии вправо или влево можно выравнять симметрию плеч каскада. С другой стороны, такое изменение топологии ведёт за собой уменьшение площади тепловыделения и увеличение удельной мощности рассеяния. Также изменение топологии влияет на частотные характеристики аттенуатора, так как изменяются реактивные параметры линии передачи. Данный способ по влиянию на параметры изделий схож с лазерной подгонкой. Повышенная удельная мощность в зауженных областях топологии приводит к деградации резистивного слоя, рассогласованию и снижению надёжности изделия в целом.

Во втором случае подгонка выполняется равномерным (либо с некоторым симметрированием распределённых резистивных структур) снятием по толщине резистивных плёнок по всей площади.

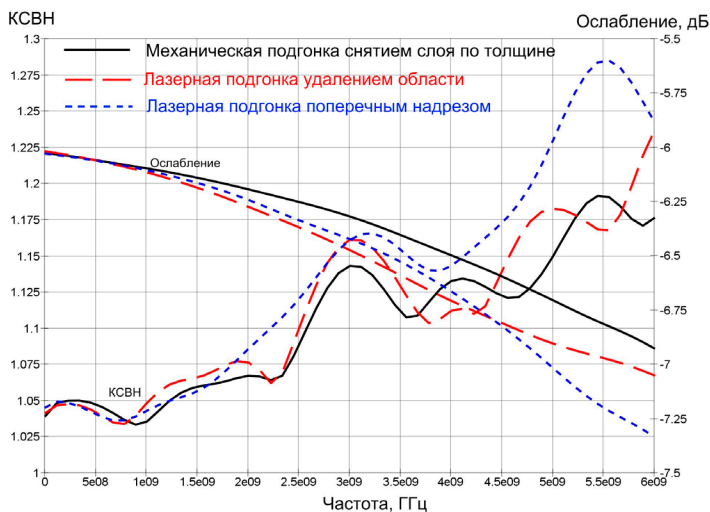


Рис. 2. Зависимости ослабления и КСВН attenuатора от частоты

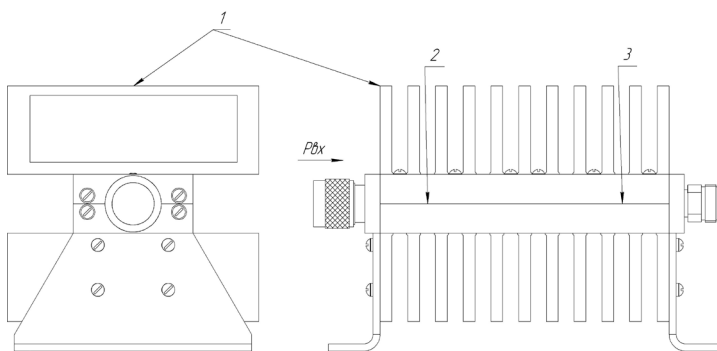


Рис. 3. Макет attenuатора и схема расположения контрольных термодатчиков.

1 – точка контроля температуры радиатора attenuатора; 2 – точка контроля температуры входного каскада attenuатора; 3 – контрольная точка контроля температуры выходного каскада attenuатора;  $P_{вх}$  – входная мощность и направление подачи в attenuатор

Топология при этом не изменяется. Соответственно, реактивные параметры линии передачи и удельные мощности рассеяния не изменяются. Необходимо отметить, что в данном случае равномерное распределение плотности тока в резистивных элементах обеспечивает повышенную стойкость к импульсным нагрузкам. Данный способ подгонки оптимален и при настройке серий промышленных изделий, как обладающий наибольшей повторяемостью. Причём возможно получение изделий с малым значением интермодуляционных искажений

Недостатком способа является высокая трудоёмкость и низкие возможности автоматизации. При этом преимущества предлагаемого решения, позволяющие получить высоконадёжные изделия с широкими динамическим и частотным диапазонами, являются определяющими факторами.

Результаты исследований апробированы на образце мощного многокаскадного attenuатора воздушного охлаждения с входной мощностью 150 Вт ослаблением до 30 дБ и рабочим диапазоном частот от 0 до 6 ГГц. В эксперименте задействованы полосковые плёночные поглотители с различными видами подгонки – лазерная (поперечный надрез и удаление области плёнки) и механическая (равномерное снятие слоя по толщине).

Как правило, в качестве каскадов многокаскадных attenuаторов выбирают Т- или П-звенья из резисторов, которые согласованы между собой. Преимущество многокаскадных attenuаторов – расширенная полоса рабочих частот и/или высокая входная мощность [4, 5]. Для решения проблем равномерного теплораспределения входная мощность должна рассеиваться равномерно в каждом каскаде. Соблюдение этого условия возможно при соответствующем расчёте коэффициентов ослабления и высоком уровне согласования каскадов. Уровень согласования каскадов, само собой, оказывает влияние и на частотные характеристики всего изделия в целом.

На рис. 2 приведено сравнение влияния различных способов подгонки на частотные характеристики attenuатора с номинальным ослаблением 6 дБ. Из результатов измерений следует, что КСВН attenuатора в случае лазерной подгонки с поперечными надрезами превышает значение 1,25 в диапазоне частот до 6 ГГц. Ослабление не должно изменяться в рабочем диапазоне более чем на 1 дБ. Вариант с механической подгонкой снятием резистивного слоя по толщине в допустимые значения укладывается. Оба образца с лазерной подгонкой вышли за допустимые пределы в конце рабочего диапазона частот.

С целью оценки температурных перегревов использован макет с установленными термодатчиками на тепловыделяющие резистивные элементы каскадов и радиатор (рис. 3).

В табл. 1 представлены усреднённые результаты измерений температуры для образцов с различными видами подгонки.

Таким образом, из частотных зависимостей и температуры перегрева каскадов attenuатора следует, что абразивная подгонка с частичным снятием резистивной плёнки по толщине позволяет:

- снизить влияние на частотные характеристики изделий вследствие некритичного изменения реактивных параметров каскадов от начальных значений;
- равномернее распределить рассеиваемую мощность по площади резистивных элементов, в целом снизив температуру перегрева изделия.

В заключение необходимо отметить, что результаты проведённых экспериментальных исследований легли в основу разработки нового типосерийного изделия на предприятии и заложили основу для выпуска перспективных изделий с увеличенными частотно-мощностными характеристиками. Целью освоения изделий является

Таблица 1

Результаты измерений температуры в контрольных точках макета аттенюатора

Способ подгонки	Температура в точках контроля, °С		
	1	2	3
Лазерная подгонка с поперечным надрезом плёнки	94	176	98
Лазерная подгонка с частичным удалением плёнки	84	166	88
Абразивная подгонка с частичным снятием плёнки по толщине	64	152	72

обеспечение импортозамещения образцов зарубежного производства в измерительной, телекоммуникационной и другой технике специального и гражданского назначения.

### Литература

1. Bird's corporate [Электронный ресурс] URL: [https://birdrf.com/Products/Test%20and%20Measurement/Attenuators/100-watts/100-SA-Series\\_Bi-Directional-Attenuators.aspx](https://birdrf.com/Products/Test%20and%20Measurement/Attenuators/100-watts/100-SA-Series_Bi-Directional-Attenuators.aspx) (дата обращения: 22.07.2021).

2. Weinschel Associates, Inc. [Электронный ресурс] URL: <https://www.weinschelassociates.com/store/WA53.aspx> (дата обращения: 22.07.2021).

3. RF-Lambda [Электронный ресурс] URL: <https://www.rflambda.eu/pdf/attenuator/RFS2000G3.pdf> (дата обращения: 22.07.2021).

4. Богомолов П. Г., Рубанович М. Г., Хрусталёв В. А., Разинкин В. П. Широкополосный плёночный СВЧ-аттенюатор: материалы III Всероссийской научно-технической конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ». – СПб: ИТМО, 2014. – С. 93–97.

5. Митьков А. С., Столяренко А. А., Рубанович М. Г. Плёночные сверхвысокочастотные аттенюаторы на основе фильтровых структур с диссипативными потерями // Вопросы радиоэлектроники, 2019. – № 4. – С. 84–89.

УДК 621.039.8:519.6

## РАСЧЁТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ И МОЩНОСТИ КЕРМЫ В КРЕМНИИ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛ ДЛЯ ГАММА-УСТАНОВКИ К-120000 CALCULATIONS OF THE ENERGY SPECTRA OF GAMMA RADIATION AND POWER OF KERMA IN SILICON BY THE METHOD OF MONTE CARLO FOR GAMMA INSTALLATION K-120000

**Некрасова Е. Н., Митин Е. В.**, ООО «НПЦ «Гранат»; +7 (961) 809-67-41, [enekrasova@npcgranat.ru](mailto:enekrasova@npcgranat.ru);  
**Грунин А. В.**, д. ф.-м. н., доцент, **Голихина Е. А.**, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»; [EAGolikhina@vniief.ru](mailto:EAGolikhina@vniief.ru);  
**Ломасов В. Н.**, к. ф.-м. н., ФГАОУ ВО «СПбПУ»; [lomasoff@yandex.ru](mailto:lomasoff@yandex.ru)

**Nekrasova E. N., Mitin E. V.**, LLC «SPC «Granat»; +7 (961) 809-67-41, [enekrasova@npcgranat.ru](mailto:enekrasova@npcgranat.ru),  
**Grunin A. V.**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor;  
**Golikhina E. A.**, FSUE «RFNC-VNIIEF», [EAGolikhina@vniief.ru](mailto:EAGolikhina@vniief.ru); **Lomasov V. N., Ph.D.**  
in Physical and Mathematical Sciences, FSAOU VO «SPbPU», [lomasoff@yandex.ru](mailto:lomasoff@yandex.ru)

*Представлены результаты расчётов энергетических спектров флюенса гамма-излучения и распределения мощности кермы в кремнии для заданных областей рабочей камеры гамма-установки. Наблюдается отличие энергетического спектра гамма-излучения установки от спектра коллимированного кобальтового источника. Проведено сравнение расчётных значений мощности кермы с экспериментальными данными.*

*Simulation results of gamma-ray energy spectrum and distribution of the kerma rates in silicon for the given areas of the working chamber of the K-120000 facility are presented. The difference between the energy spectrum of gamma radiation of the facility and the spectrum of a collimated cobalt source is shown. The kerma rates obtained by Monte Carlo simulation were compared with experimental data.*

**Ключевые слова:** гамма-установка, энергетический спектр, керма, испытания на радиационную стойкость, метод Монте-Карло.

**Keywords:** co-facility, energy spectra, kerma, hardness assurance testing, Monte-Carlo method.

Установки непрерывного облучения на основе изотопных источников с энергией гамма-квантов не менее 0,5 МэВ используются для проведения испытаний электронной компонентной базы (далее – ЭКБ) и радиоэлектронной аппаратуры (далее – РЭА) на радиационную стойкость в части дозовых ионизационных эффектов.

В соответствии с действующими нормативно-методическими документами предъявляются высокие требования к равномерности облучения объектов испытаний и к дозиметрическому сопровождению.

Для корректного расчёта норм испытаний необходимо располагать данными по спектрально-энергетическим и пространственным распределениям поля излучения рабочей камеры гамма-установки. Однако экспериментальным путём получить информацию об энергетическом спектре гамма-излучения изотопной установки достаточно сложно, поскольку гамма-спектрометры имеют невысокую угловую чувствительность и обычно используются для детектирования коллимированного пучка гамма-квантов от одного изотопного источника.

Альтернативным методом получения информации об энергетическом спектре гамма-квантов является проведение расчётов поля излучения изотопной установки методом Монте-Карло с учётом реальной трёхмерной геометрии рабочей камеры с трубами облучателя, стеллажами, бетонными стенами и необходимой технической оснасткой [1].

В данной работе расчёты энергетического спектра флюенса гамма-квантов были проведены для изотопной установки К-120000 (ФГАОУ ВО «СПБПУ»). Это установка относится к мощным



Некрасова Е. Н.

стационарным установкам сухого типа. Рабочая камера имеет форму куба, стены камеры сделаны из бетона. В центре рабочей камеры расположен облучатель типа «беличье колесо», состоящий из 20 труб, сделанных из нержавеющей стали.

В каждой трубе размещается по одной кассете с двумя кобальтовыми источниками ГИК-7-4. На 20.10.2020г. установка укомплектована источниками в количестве 40 шт. с суммарной активностью  $1,73 \times 10^{15}$  Бк (20 источников 2019 г. с суммарной активностью  $1,18 \times 10^{15}$  Бк и 20 источников 2013 г. с суммарной активностью  $5,42 \times 10^{14}$  Бк).

На рис. 1 представлена схема экспериментального зала гамма-установки с указанием областей, для которых были проведены расчёты энергетического спектра гамма-излучения и распределения мощности кермы. Область высокой интенсивности расположена на средней полке стеллажа № 1, ограничена углом в 22 градуса относительно кассеты № 1 с радионуклидными источниками. Мощность кермы от 6,5 до 28 рад/с при 20 поднятых кассетах. Область низкой интенсивности расположена на стеллаже № 2, установленном на расстоянии 270 см от кассеты № 1. Мощность кермы от 0,05 до 0,1 рад/с при одной поднятой кассете.

Для проведения расчётов энергетических спектров гамма-излучения и мощности кермы в ООО «НПЦ «Гранат» была разработана специальная программа на основе библиотек Geant4 [2]. С помощью метода Монте-Карло решается задача взаимодействия всех компонентов поля излучения изотопной гамма-установки

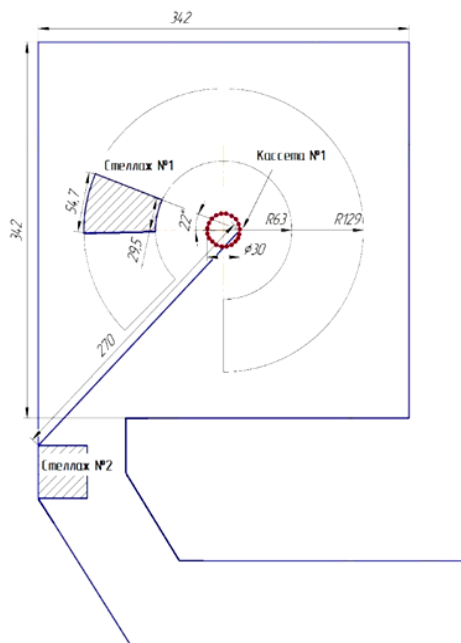


Рис. 1. Схема экспериментального зала гамма-установки К-120000



с окружающим веществом в трёхмерной модели рабочей камеры, максимально приближенной к реальной геометрии. Энергетические спектры фотонов, полученные в результате расчётов, были сопоставлены с энергетическими спектрами, рассчитанными для той же геометрии установки в программе C-007 разработки ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» [3]. Она объединяет возможности существовавших ранее программ, включая программу «ЭЛИЗА», для которой была проведена экспериментальная верификация разработанной

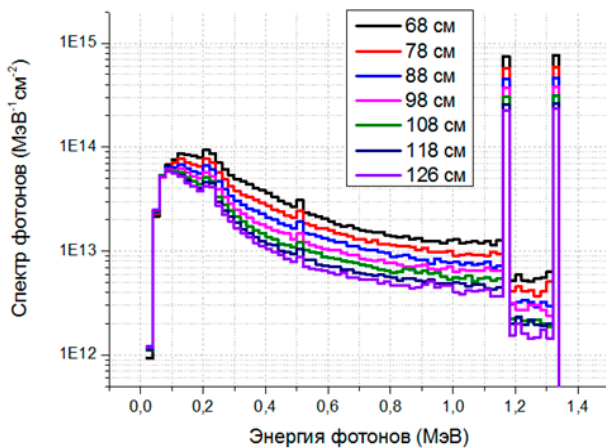


Рис. 2. Энергетические спектры флюенса гамма-излучения, рассчитанные для области высокой интенсивности при 20 поднятых кассетах с источниками

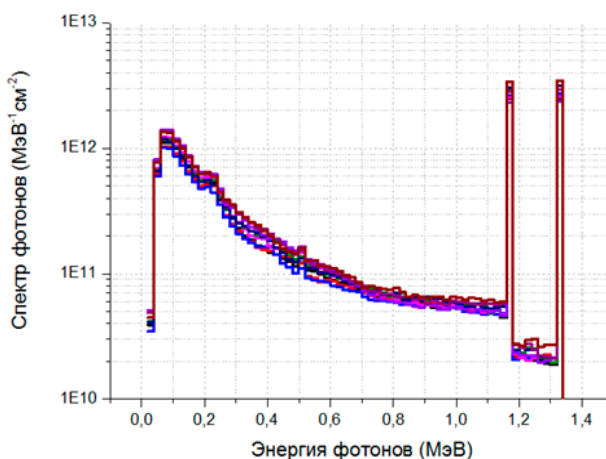


Рис. 3. Энергетические спектры флюенса гамма-излучения, рассчитанные для области низкой интенсивности при одной поднятой кассете с источниками

численной модели поля изотопной установки ЭТАЛОН-3 [4].

Статистическая погрешность расчёта энергетического спектра флюенса гамма-излучения на установке К-120000 в программе C-007 не превышает 9,6 %, а в программе Geant4 – 12,4 %.

На рис. 2 и 3 представлены результаты расчётов энергетического спектра флюенса гамма-излучения в рабочей камере установки К-120000,

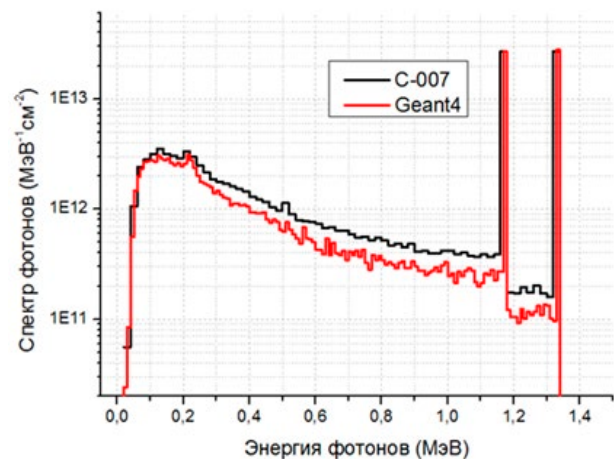


Рис. 4. Энергетические спектры флюенса гамма-излучения, рассчитанные в программах C-007 и Geant4 на расстоянии 68 см от источников в области высокой интенсивности при одной поднятой кассете с источниками

полученные в программах C-007 на различных расстояниях от источников для областей высокой и низкой интенсивностей.

На рис. 4 представлены результаты расчётов энергетического спектра флюенса гамма-излучения в рабочей камере установки К-120000 на стеллаже № 1, полученные в программах C-007 и Geant4. Различие между средними энергиями спектра составляет 13 %.

В результате анализа расчётных спектров была определена средняя энергия гамма-излучения для областей высокой и низкой интенсивностей: на расстоянии 68 см от источников она составляет 0,78 МэВ, а на расстоянии 270 см от источников – 0,56 МэВ.

Результаты расчётов показывают, что энергетические спектры фотонов в рабочей камере гамма-установки значительно отличаются от спектра коллимированного источника  $Co^{60}$ , в котором доминируют пики гамма-квантов с энергиями 1,17 МэВ и 1,33 МэВ, а низкоэнергетическая часть спектра рассеянного излучения мала.

Для верификации результатов расчётов были проведены измерения мощности кермы в рабочей камере гамма-установки в областях высокой и низкой интенсивностей с помощью алмазного измерительного преобразователя УДМС-1К, установленного на однокоординатном перемещающем устройстве. Измерения были проведены с шагом 1 см по нескольким направлениям внутри областей. Полученные значения мощности кермы в воздухе были пересчитаны в мощность кермы в кремнии с учётом спектра гамма-излучения и коэффициентов истинного поглощения фотонов в указанных веществах. Результаты сравнения данных измерений и расчётных значений приведены на рис. 5 и 6.

Наблюдается хорошее согласие результатов расчётов с экспериментальными данными: в области высокой интенсивности различие значений мощности кермы не превышает

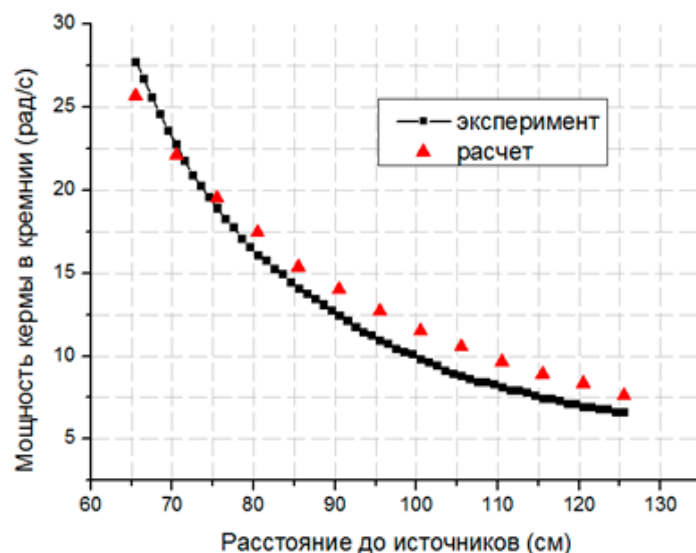


Рис. 5. Сравнение измеренных значений мощности кермы с результатами расчётов в зависимости от расстояния до источников (область высокой интенсивности, центральная ось)

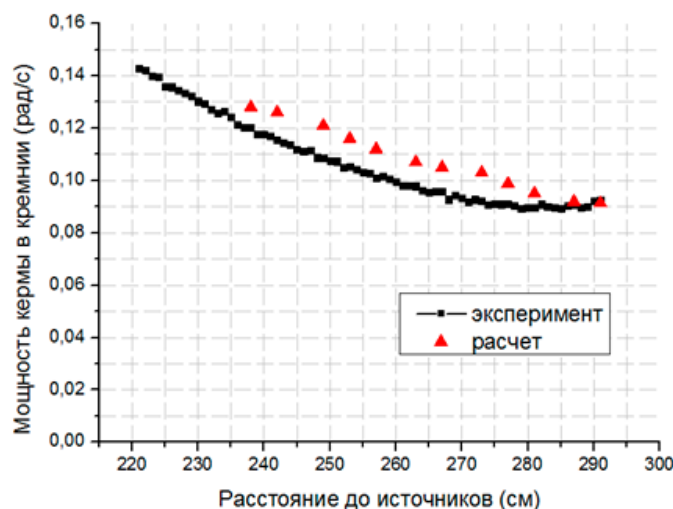


Рис. 6. Сравнение измеренных значений мощности кермы с результатами расчётов в зависимости от расстояния до источников (область низкой интенсивности, центральная ось)

10 % до расстояния 85 см, далее не превышает 20 %; в области низкой интенсивности различие в значениях не превышает 12 %.

Энергетические спектры фотонов в рабочей камере гамма-установки К-120000 существенно отличаются от спектра коллимированного источника  $Co^{60}$ .

Рассеянное излучение от элементов конструкции и бетонных стен изотопной гамма-установки даёт значительный вклад в результирующий энергетический спектр, особенно вблизи бетонных стен. Данное обстоятельство необходимо учитывать при подготовке к проведению испытаний ЭКБ и РЭА на радиационную стойкость в части дозовых ионизационных эффектов.

### Литература

1. Некрасова Е. Н., Митин Е. В., Грунин А. В., Голихина Е. А., Ломасов В. Н., Лоскот А. И. Расчёт энергетических спектров гамма-излучения и мощности кермы для гамма-установки // Тезисы докладов 24-й Всероссийской научно-технической

конференции «Радиационная стойкость электронных систем». – 2021. – с. 214–215.

2. Geant4: a toolkit for the simulation of the passage of particles through matter [Электронный ресурс] URL: <http://geant4.cern.ch/>.

3. Житник А. К., Донской Е. Н., Огнев С. П., Горбунов А. В., Залялов А. Н., Иванов Н. В., Малькин А. Г., Рослов В. И., Семёнова Т. В., Субботин А. Н. Методика С-007 решения методом Монте-Карло связанных линейных уравнений переноса нейтронов, гамма-квантов, электронов и позитронов // ВАНТ Сер. Математическое моделирование физических процессов. – 2011. – Вып. 1. – С. 17–24.

4. Грунин А. В., Донской Е. Н., Залялов А. Н., Иванов Г. А., Ковшов К. Н., Лазарев С. А., Петрушин О. Н., Тарасов М. Д. Экспериментальная верификация численной модели поля излучения изотопной установки ЭТАЛОН-3 // Проблемы физики высоких плотностей энергии. XII Харитоновские тематические научные чтения: Сборник докладов. – Саров, 2010. – с. 118–121.

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ РАДИОФОТОНИКИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

### TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF RADIOPHOTONICS IN THE RUSSIAN FEDERATION

**Башкатов А. С., Корнилов С. В.**, к. т. н., доцент, **Мещерова Д. Н.**, ФГУП «МНИИРИП»;  
+7 (495) 586-17-21, bashkatov@mniirip.ru, kornilov@mniirip.ru, mescherova@mniirip.ru

**Bashkatov A. S., Kornilov S. V.**, Candidate of Technical Sciences, Associate professor, **Mescherova D. N.**,  
FSUE «MNIIRIP»; +7 (495) 586-17-21, bashkatov@mniirip.ru, kornilov@mniirip.ru, mescherova@mniirip.ru

*В данной статье представлен обзор одного из наиболее перспективных направлений развития современной радиотехники радиофотоники. Рассмотрены основные цели и задачи, преимущества и недостатки применения радиофотонных технологий в современных и перспективных сетях и системах телекоммуникационного и радиолокационного назначений.*

*This article provides an overview of one of the most promising trends in the development of modern radio engineering radiophotonics. The main goals and objectives, advantages and disadvantages of using radiophoton technologies in modern and promising networks and systems for telecommunications and radar purposes are considered.*

**Ключевые слова:** радиофотоника, компонентная база.

**Keywords:** radiophotonics, component base.

В последние годы наблюдается активное развитие нового направления в мировой науке и технике, изучающего взаимодействие оптического излучения и СВЧ радиочастотного сигнала в задачах приёма, передачи и обработки информации. Данное направление, связанное с использованием методов и средств фотоники совместно с радиоэлектронными элементами, узлами и устройствами, получило название радиофотоника.

Радиофотоника (иностранный эквивалент Microwave Photonics) – это новое междисциплинарное научно-техническое и научно-технологическое направление СВЧ-радиоэлектроники и фотоники, обеспечивающее повышение эффективности формирования и обработки аналоговых и цифровых сигналов за счёт их переноса в оптический диапазон. Причина появления данного направления связана с необходимостью решения постоянно усложняющихся инженерно-технических задач, заставивших радиоинженеров в поисках новых возможностей выйти за пределы своей дисциплины и обратиться к оптическому диапазону.

Радиофотоника естественным образом связана с её основами и развивается на базе современных потребностей радиосистем. Тем не менее, технологии создания её компонентной базы требуют развития множества областей фундаментальных исследований.



Башкатов А. С.



Корнилов С. В.

Созданный на стыке СВЧ-радиоэлектроники и фотоники, радиофотонный подход является эффективным путём улучшения ключевых параметров и характеристик радиоэлектронных систем СВЧ-диапазона двойного и военного назначений. В частности, применение радиофотоники в перспективных радиосредствах различного назначения имеет потенциал, прежде всего, с точки зрения повышения точности управления фазой (до десятых долей градуса) и задержкой (до субнаносекундного уровня) СВЧ-сигналов, а также с точки зрения расширения доступной мгновенной полосы частот (до единиц и десятков ГГц).

Другое направление радиофотоники состоит в улучшении тактико-технических показателей существующих радиосредств. Во-первых, потери при распространении СВЧ-сигнала в коаксиальном кабеле значительно выше, чем в волоконном кабеле. Отсутствие побочных электромагнитных излучений упраздняет проблему электромагнитной совместимости [1]. Кроме того, в оптическом диапазоне можно передать сверхширокополосный сигнал (до ТГц диапазона).

Таким образом, основными преимуществами радиофотонных устройств являются [2]:

- сверхнизкие потери и дисперсия оптического волокна (менее 0,2 дБ/км на 1550 нм, оптическая несущая частота 200 ТГц);
- сверхширокополосность (доступная полоса частот оптического волокна ~50 ТГц, полоса частот современных фотодиодов и модуляторов до 100 ГГц и выше);
- низкий уровень фазовых шумов (процесс прямого оптического детектирования с помощью фотодиода невосприимчив к фазе оптического излучения (к фазе и фазовым шумам оптической несущей));
- высокая фазовая стабильность оптического волокна (невосприимчивы к электромагнитным помехам, не создают помехи);
- гальваническая развязка фотонных схем;
- малая масса и размеры оптического волокна;
- механическая гибкость оптического волокна (облегчает конструктивное исполнение).

Принципиальным недостатком использования радиофотонной технологии в радиоэлектронных системах является необходимость операций прямого и обратного преобразований в оптический диапазон, в ходе которых возникают существенные потери мощности сигнала. Тем не менее, их влияние в значительной степени компенсируется за счёт малых собственных потерь в волокне.

Применение оптических методов передачи и обработки радиочастотных сигналов в радиолокации и связи является одним из перспективных направлений. Использование технологий радиофотоники при создании элементов и узлов приёмопередающей аппаратуры может обеспечить значительное улучшение их основных тактико-технических характеристик: увеличение разрешающей способности по дальности и информативности, обеспечение высокой помехозащищённости и уменьшение массогабаритных характеристик.

Достижение перечисленных преимуществ возможно благодаря внедрению функциональных узлов на основе электрооптических модуляторов, демодуляторов, источников и приёмников оптического сигнала, оптических линий задержек и фазовращателей, волоконно-оптических линий связи.

С этих позиций компонентную базу радио-фотоники и строящиеся на её основе функциональные элементы и устройства можно разделить на пять типов [3]:

- оптико-электрический преобразователь, например, полупроводниковый фотодиод;
- электрооптический преобразователь, например, полупроводниковый лазер;
- датчик СВЧ-сигнала с оптическим управлением, например, оптоэлектронный генератор СВЧ-сигналов;
- преобразователь оптического сигнала, например, оптический модулятор, лазерный усилитель;
- преобразователь СВЧ-сигнала, например, СВЧ-усилитель, коэффициент усиления которого

регулируется оптическим сигналом, оптоэлектронная схема задержки, оптоэлектронный смеситель.

Общая отличительная черта всех вышеперечисленных приборов и функциональных элементов заключается в работе в С (1530–1565 нм) и/или L (1565–1625 нм) спектральных диапазонах. Основными причинами такого выбора являются самые низкие потери в кварцевом волокне и самая широкая рабочая спектральная полоса, что, например, позволяет эффективно заменить обычно применяемый в активных фазированных антенных решетках набор переключаемых линий задержек на базе большого числа СВЧ-линий передачи на многоволновую передачу со спектральным разделением каналов по одной общей волоконно-оптической линии. Также только в указанных диапазонах существует уникальная возможность компенсации потерь за счёт экономичных и высокотехнологичных волоконных усилителей. Устройства данного типа, основанные на чисто оптическом взаимодействии, появились в процессе развития волоконно-оптических систем и также могут быть эффективно применены в радиофотонной аппаратуре. К ним относятся: преобразователь оптического сигнала с оптической накачкой, например, эрбиевый, рамановский и бриллюэновский волоконные усилители, датчик оптического сигнала с оптической накачкой – эрбиевый волоконный генератор.

Исследования в данном направлении начали проводиться с конца 70-х годов прошлого столетия. Отправной точкой для них служили потенциальные возможности по увеличению пропускной способности канала передачи информации, предоставляемые быстро развивающимися в те годы цифровыми волоконно-оптическими системами передачи (ВОСП), что требовало создания оптоэлектронных и электронных компонентов и устройств для преобразования и обработки сигналов с быстродействием в пикосекундном диапазоне.

С годами интерес к данной тематике только продолжает увеличиваться, о чём, например, свидетельствуют специальные выпуски (начиная с 1990 г.) в ведущих зарубежных журналах, а также создание специальных секций практически на всех крупных международных конференциях по СВЧ- и оптической технике и проведение ежегодной международной конференции научного общества IEEE, полностью посвящённой радиофотонике.

Современный этап общественного развития состоит в широчайшем использовании электромагнитного спектра для коммуникаций. Для облегчения связи между двумя и более пользователями были разработаны радио- и телевизионное вещание, сотовые телефоны, спутниковая связь, радиопереговорные устройства и множество других аппаратурных средств. В аппаратуре данных систем используются передача и обработка сигналов радиочастотного диапазона. За счёт широкого внедрения микроэлектронных схем с их преимуществами в габаритах, потребляемой мощности и быстродействии в большинстве этих систем произошёл переход от

чисто аналоговых к смешанным аналого-цифровым методам обработки сигналов. При этом аналоговые сигналы оцифровываются ещё до обратного преобразования в непрерывные колебания для дальнейшего использования в аналоговом формате, обрабатываются и/или транспортируются в цифровой форме. Хотя в современных радиосистемах всё больше и больше применяется цифровая обработка сигналов (ЦОС), аналоговые ВОСП также являются важным и практичным инструментальным средством для радиоинженера в разработке вышеуказанных радиосистем. Возможность обработки сигнала в аналоговой среде может упростить общее системное проектирование, особенно в широкополосных системах, где требования к полосе пропускания сложно удовлетворить при помощи средств ЦОС. Однако, чтобы обеспечить максимальную эффективность и производительность, разработчик аналоговой системы должен выбрать аналоговые аппаратные средства, наилучшим образом сочетающиеся с характеристиками современных средств ЦОС. В наиболее общей форме аналоговая фотонная схема представляет собой линию задержки, содержащую электрооптический преобразователь (ЭОП), предназначенный для преобразования радиочастотного сигнала в оптический диапазон, оптическую среду передачи и оптико-электрический преобразователь (ОЭП). Сигналы одного или нескольких радиочастотных входов конвертируются в оптический диапазон с помощью соответствующих ЭОП. Преобразованный в оптический диапазон радиочастотный сигнал может быть задержан во времени посредством оптического волокна, обработан и доставлен на входы одного или нескольких ОЭП, где оптические сигналы демодулируются обратно в электрические сигналы радиочастотного диапазона. Элементы обработки могут выполнять множество функций, включая: коммутацию, маршрутизацию, фильтрацию, частотное преобразование и усиление [4].

Несмотря на наличие проблемных вопросов, радиофотоника представляет собой перспективную технологическую основу для многих практических задач, существенно расширяющую области применения и открывающую новые возможности для применения как в радиолокации, так и в области электроники в целом [5].

Анализ публикаций показал, что США, Евросоюз, Китай уже создали долгосрочные планы развития, в которых предусматривается как создание отдельных технических решений, так и комплексное применение радиофотоники интегрального исполнения в радиочастотных системах. Основными мировыми трендами, задающими вектор развития современных технологий, признаны Big Data и конвергенция фотоники, в том числе и радиофотоники, с компьютерными технологиями и биотехнологиями.

В настоящее время переход на технологии, основанные на использовании фотоники, является одним из основных трендов в современных коммуникациях и высокопроизводительных вычислениях. Все задачи, рассматриваемые этим направлением, можно разбить на две тесно

связанные категории: квантовую коммуникацию и квантовые вычисления. Применение квантовых эффектов в телекоммуникациях в первую очередь открывает новые возможности по созданию защищённых каналов связи. На сегодняшний день в мире уже запущено более десятка квантовых коммуникационных систем различного характера: от научных исследований до коммерческого использования. В США, Евросоюзе, Японии и Китае ведётся работа по стандартизации квантовых сетей и устройств. В области квантовых вычислений на настоящий момент существует лишь ограниченное число алгоритмов, направленных на решение вычислительно сложных задач. В ближайшие 10 лет ожидается дальнейшее развитие квантовых алгоритмов для обработки большого объёма данных, машинного обучения, поиска информации. Квантовые компьютеры для некоторого круга задач должны будут на несколько порядков превзойти по производительности свои классические аналоги.

Также актуальным является направление по созданию фазированных антенных решеток для радиолокационных систем. Исследования в этой области проводятся в России, США и Евросоюзе.

Российская Федерация, обладая мощным научным потенциалом в области изучения фотоники, а также большим опытом в проведении разработок в этой сфере и наличием предприятий и организаций, активно работающих по тематике фотоники, уступает другим странам по масштабам её практического использования, находится на начальной стадии развертывания работ по фотонике и обладает отдельными технологиями создания дискретных компонентов радиофотоники. Потенциальные возможности радиофотоники используются в России слабо. Разработками в области радиофотоники заняты АО ПНППК, НИЯУ МИФИ, АО «Концерн Радиоэлектронные технологии» (КРЭТ), АО «Концерн радиостроения «ВЕГА», АО «НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха», входящие в состав Государственной корпорации «Ростех», РТУ МИРЭА, АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей», Зеленоградский нанотехнологический центр и др.

На сегодняшний день разработаны такие компоненты радиофотоники, как 1550 нм 50 мВт РОС-лазер с одномодовым волокном и мощный InGaAs фотоприёмник СВЧ-диапазона, разработаны и изготовлены экспериментальные образцы РЛС и фотонный АЦП для СВЧ-диапазона до 12 ГГц.

В то же время у России есть возможность найти и занять свои ниши в сфере радиофотоники. Для этого требуется последовательно и масштабно развивать нужные компетенции в сфере исследований и разработок, стимулировать предприятия и организации, работающие в этой сфере, эффективно кооперироваться внутри страны и за её пределами для удержания темпов разработок. В соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 марта 2019 года № ЮБ–П7–2419 разработана Межведомственная координационная целевая

программа развития радиофотоники в Российской Федерации, направленная на решение приоритетных задач обеспечения национальной безопасности и социально-экономического развития Российской Федерации посредством комплексного развития научно-технического, научно-технологического, образовательного и промышленного потенциалов разработки и производства нового класса отечественных радиотехнических средств двойного назначения на основе применения радиофотонных технологий. Планируемые срок реализации Программы – до 2030 года.

Реализация Программы должна обеспечить:

- сокращение технологического отставания российской промышленности от мирового уровня в стратегически важной сфере радиофотонной компонентной базы;

- создание технологического задела разработки и производства перспективных радиотехнических систем военного и двойного назначения, не уступающих по основным техническим характеристикам мировым достижениям;

- активизацию инновационной деятельности организаций радиоэлектронной отрасли, стимулирование создания современного высокотехнологичного производства;

- увеличение числа рабочих мест непосредственно в сфере производства радиофотонной компонентной базы и радиоэлектронной аппаратуры и систем на её основе;

- привлечение в науку и производство, повышение спроса на квалифицированные научно-технические кадры, обеспечение привлечения молодых специалистов и учёных, а также улучшение возрастной структуры кадров в науке и производстве.

Отечественными разработчиками компонентной базы радиофотоники проводятся исследования по следующим перспективным направлениям:

- создание радиооптических фазированных антенных решеток, которые значительно расширят возможности современных средств связи и радаров;

- создание высокостабильных одночастотных РОС-лазеров с выходной мощностью до 100 мВт на сетку длин волн от 1500 нм до 1600 нм;

- создание мощного фотоприёмника на базе UTC гетероструктуры с вертикальным вводом излучения для систем радиофотоники до 18 ГГц с мощностью насыщения не менее 100 мВт;

- создание мощного волноводного фотоприёмника с торцевым вводом излучения для систем радиофотоники до 40 ГГц;

- создание мощного балансного фотоприёмника СВЧ-диапазона на базе UTC гетероструктуры для систем радиофотоники до 18 ГГц;

- создание исходных наногетероструктур для компонентов радиофотоники, в том числе для перспективных InP модуляторов оптического излучения с низкими значениями управляющего напряжения;

- разработка технологии интегральных компонентов радиофотоники на платформе InP с помощью метода МОСГЭ.

Таким образом, применение методов и технологий радиофотоники для формирования и обработки сигналов позволит добиться улучшения пропускной способности, массогабаритных и стоимостных характеристик, энергопотребления, надёжности современных радиоэлектронных систем СВЧ-диапазона.

#### Литература

1. Журнал «Крылья Родины» <http://kr-media.ru/news/avionika-i-vooruzhenie/sovetsnik-pervogo-zameshitelya-generalnogo-direktora-kret-v-g-mikheev-intervyu/>.
2. Журнал «Наука и техника» <https://naukatehnika.com/fotonnye-radary-fotonika-stels-technologii.html/>.
3. Белкин М. Е., Яковлев В. П. Наноструктурный поверхностно-излучающий лазер с вертикальным резонатором О и С спектральных диапазонов в качестве ключевого элемента компонентной базы радиофотоники// Наноматериалы и наноструктуры, 2014. – Т. 5. – № 3. – с. 37–49.
4. Урик Винсент Дж.-мл., МакКинни Джейсон Д., Вилльямс Кейт Дж. Основы микроволновой фотоники. – М., 2016.
5. Быстров Р. П., Соколов С. А. Системы и устройства на основе радиофотоники применительно к радиолокации., М. РАН. 2 с. 2017.

УДК 621.384.6:539.12.04

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ И ИЗОТОПНОЙ УСТАНОВКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ НА РАДИАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ

### IONIZING RADIATION EQUIVALENCE DETERMINATION BETWEEN ELECTRON ACCELERATOR AND ISOTOPE INSTRUMENT BY ELECTRONIC COMPONENTS RADIATION HARDNESS TEST RESULTS

**Максимов К. О.**, к. т. н., ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»; +7 (3412) 48-78-90, mko27@irz.ru;  
**Ткачук М. В., Дедюхин А. А.**, ООО «ИРЗ ТЕСТ»; +7 (3412) 72-71-00, +7 (3412) 48-78-90, tmv@irz.ru, dedyukhin@irz.ru

**Maksimov K. O.**, Ph.D. of Engineering Sciences,  
Kalashnikov Izhevsk State Technical University, +7 (3412) 48-78-90, mko27@irz.ru;  
**Tkachuk M. V., Dedyukhin A. A.**, «IRZ TEST LLC»; +7 (3412) 72-71-00, +7 (3412) 48-78-90, tmv@irz.ru, dedyukhin@irz.ru

Проведён сравнительный анализ результатов испытаний изделий ЭКБ на статическом гамма-аппарате АГАТ-С с изотопным источником Со60 и на ускорителе электронов Varian Clinac 6EX с максимальной энергией электронов 6 МэВ с целью определения идентичности радиационного воздействия. По результатам исследований выявлено, что функциональные зависимости параметров изделий ЭКБ от поглощённой дозы совпадают в пределах погрешности.

The comparative test results analysis for electronic components using static gamma radiation instrument AGAT-S with Co60 source and electron accelerator Varian Clinac 6EX with 6 MeV electron energy spectrum maximum are provided. The purpose of research is radiation exposure identity identification. By results of researches it is revealed that functional dependences of electronic component parameters from the absorbed dose match in permissible errors.

**Ключевые слова:** дозовые эффекты, гамма-излучение, электронная компонентная база (ЭКБ).

**Keywords:** dose effects, gamma radiation, electronic component base (ECB).

Испытания изделий электронной компонентной базы на стойкость к воздействию дозовых эффектов на различных установках должны иметь один и тот же эквивалент воздействия излучения, генерируемого установками гамма-излучения. Моделирующие установки (МУ), используемые для испытаний на стойкость к воздействию ионизирующего излучения (ИИ) по дозовым эффектам, являются источниками гамма-квантов, имеющих схожую физическую природу и близкие характеристики с воздействующим в реальных условиях излучением. Основным требованием к испытаниям ЭКБ с использованием МУ является обеспечение эквивалентного воспроизведения характеристик реальных дозовых эффектов при испытательных воздействиях [1, 2].

Основными источниками ионизирующего излучения в изотопных МУ при испытаниях ЭКБ являются либо изотоп Со<sup>60</sup>, либо Cs<sup>137</sup>. Наличие радионуклидных источников в установках является ограничивающим фактором применения данных МУ при испытаниях ЭКБ. Причин этому несколько:

– наличие непрерывного фонового излучения, даже при хорошей физической защите источника неизбежно приводит к дополнительным дозовым

воздействиям на исследуемые образцы ЭКБ, контрольно-измерительную аппаратуру и персонал при подготовке к испытаниям;

– сложность оперативного регулирования мощности поглощённой дозы в широких пределах без влияния на энергетический спектр излучения в полезном испытательном объёме;

– эксплуатация и хранение сопровождаются дополнительными мероприятиями и затратами на обеспечение радиационной безопасности и др.

С другой стороны, источниками гамма-излучения, кроме изотопных МУ, являются ускорители электронов (в режиме генерации тормозного излучения). С развитием современной научно-технической базы они становятся всё более доступными, а их использование лишено тех ограничений, которые накладываются на изотопные установки.

С переходом испытаний изделий ЭКБ на ускорители электронов необходимо провести исследования в части определения эквивалентности воздействия излучений ускорителя и установки на изотопе Со<sup>60</sup>. Именно с этой целью была проведена данная работа по исследованию воздействий излучений на различные изделия ЭКБ. Испытания проводились на статическом гамма-терапевтическом аппарате АГАТ-С (eИ1.197.003) (рис. 1) и линейном ускорителе Varian Clinac 6EX (рис. 2). Источником излучения в аппарате АГАТ-С является закрытый радионуклид Со<sup>60</sup> (45.Т.ГИК-8-4), обеспечивающий мощность поглощённой дозы 2 рад[Si]/с на расстоянии 70 см от головки АГАТ-С до объекта облучения. Энергетический спектр аппарата АГАТ-С представлен на рис. 3, где видно, что основная доля спектра излучения приходится на энергию 1,25 МэВ. Ускоритель Varian Clinac 6EX имеет электронную пушку с максимальной энергией электронов 6 МэВ. Максимальная мощность поглощённой дозы излучения составляет 10 рад[Si]/с на расстоянии 1 м от мишени до объекта испытаний. Энергетический спектр излучения ускорителя представлен на рис. 3.

Исследования проводились в нормальных климатических условиях при мощности поглощённой дозы излучения 2 рад[Si]/с с использованием одного и того же комплекта контрольно-проверочной аппаратуры. Электрические режимы исследуемых



Ткачук М. В.

типономиналов изделий ЭКБ не менялись при смене установок. Регистрация измерений параметров производилась в автоматическом режиме. Дозиметрия поля полезного испытательного объема обеих МУ осуществлялась дозиметром ДКС-АТ5350/1, состоящим из блока измерительного электрометрического и ионизационной камеры ТМ30010-10. Погрешность дозиметрии при испытаниях не более 3 %.

Оценка идентичности воздействия излучений испытательных установок была проведена на изделиях ЭКБ (более 10 типономиналов): транзисторы (IRF-5210SPBF, IRL110PBF, IRLR3410PBF), мультиплексоры и ключи (ADG453BRZ, TPS2011AD), приёмо-передатчики (ADM3222ARUZ), источники вторичного электропитания (ADP1707ARDZ-1.5, ADR435BRZ, LM2675M-ADJ), элементарная логика (SN74ABT245BPWG4, SN74AC04D, SN74HC00D, SN74HC14DG4) и др.

В данной статье на рис. 4 представлены результаты исследований лишь нескольких изделий ЭКБ.



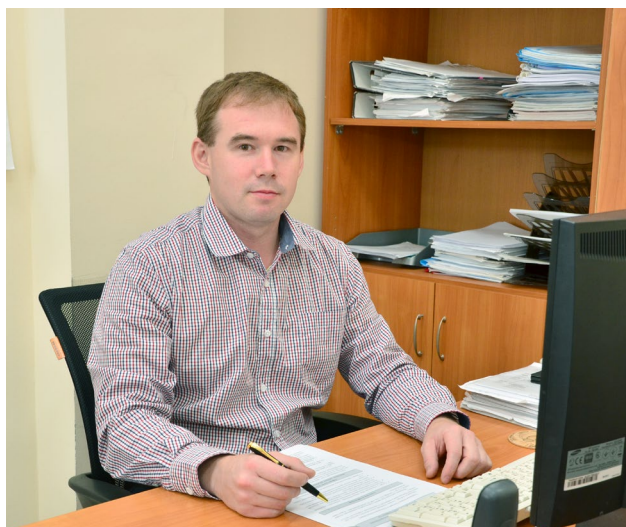
Рис. 1. Общий вид гамма-терапевтического аппарата АГАТ-С



Максимов К. О.



Рис. 2. Общий вид линейного ускорителя Varian Clinac 6EX



Дедюхин А. А.

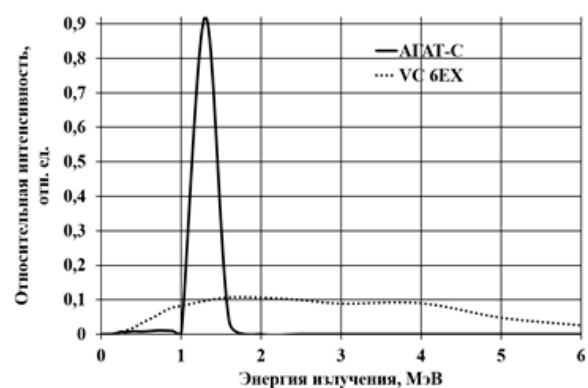


Рис. 3. Энергетические спектры статического гамма-аппарата АГАТ-С и ускорителя электронов Varian Clinac 6EX



Из рис. 4 видно, что зависимости параметров-критериев годности испытываемых образцов от поглощённой дозы как при облучении на гамма-аппарате АГАТ-С, так и на ускорителе электронов Varian Clinac 6EX имеют один и тот же характер. Опираясь на результаты измерений электрических параметров, можно сделать вывод, что процессы деградации чувствительных областей изделий ЭКБ идентичны для обеих МУ. Кроме того, основная доля энергетического спектра тормозного излучения ускорителя приходится на область вблизи энергии 1,06 МэВ, следовательно, в случае с ускорителем Varian Clinac 6EX преобладают эффекты (например, Комптон-эффект) аналогичные эффектам при использовании гамма-аппарата [2, 3].

Смещение зависимостей параметров-критериев годности друг относительно друга в начале набора поглощённой дозы и с сохранением тенденции в последующие моменты объясняется разбросом значений параметров-критериев годности элементов в пределах норм, установленных в технических описаниях предприятиями-изготовителями.

На основании проведённых работ можно сделать заключение, что характер и степень воздействий ионизирующих излучений статического гамма-аппарата АГАТ-С на изотопе  $Co^{60}$  и линейного ускорителя электронов Varian Clinac 6EX на материалы и вещества, входящих в состав испытываемых изделий ЭКБ, эквивалентны.

### Литература

1. Першенков В. С., Попов В. Д., Шальнов А. В. Поверхностные радиационные эффекты в элементах интегральных микросхем. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 256 с.
2. Таперо К. И., Улимов В. Н., Членов А. М. Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах космического применения. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 304 с.
3. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники / Под ред. Е. А. Ладыгина. – М.: Сов. радио, 1980. – 224 с.

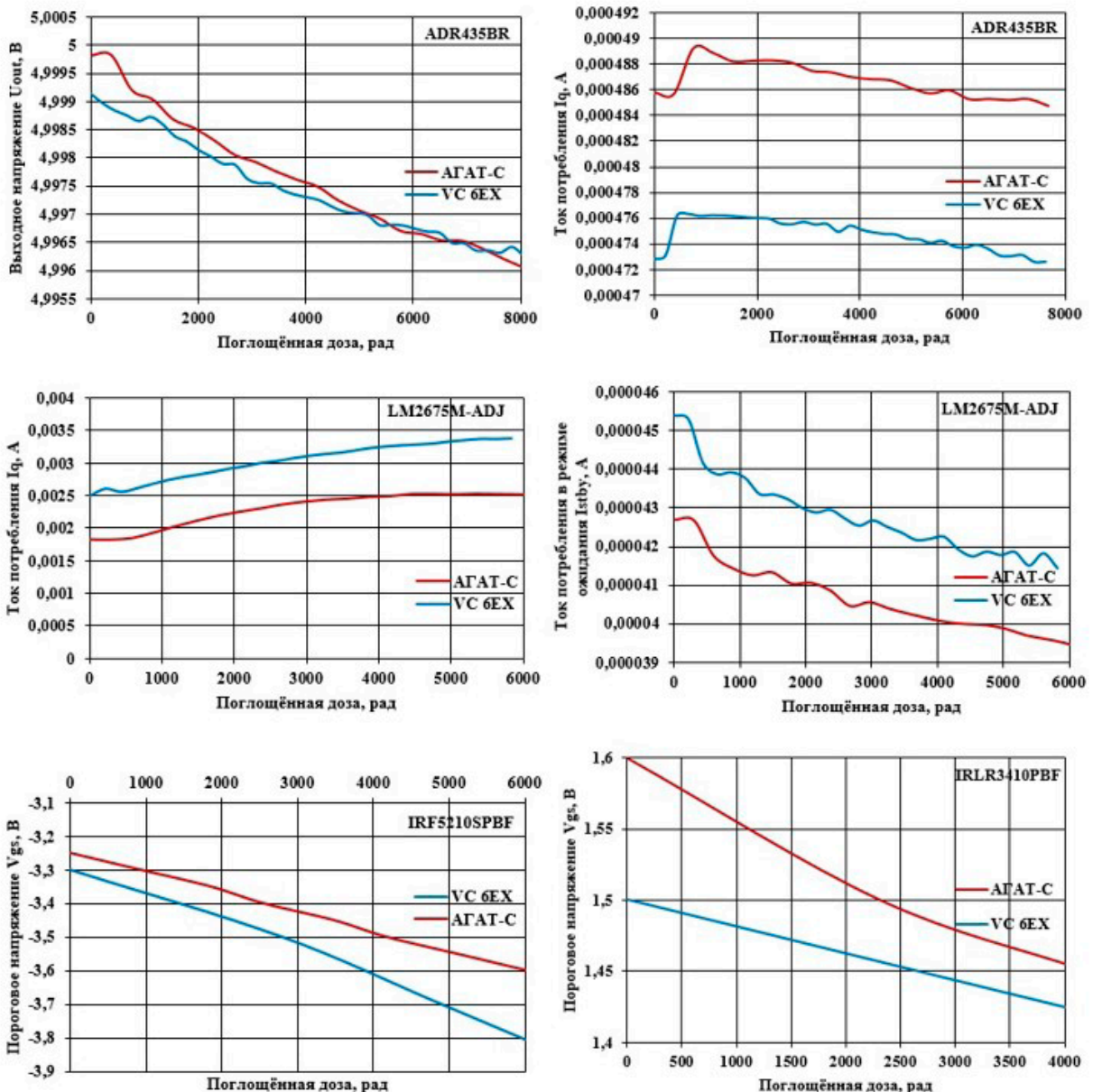


Рис. 4. Энергетические спектры статического гамма-аппарата АГАТ-С и ускорителя электронов Varian Clinac 6EX

УДК 621.315.2

## ПОСТАНОВКА НА ПРОИЗВОДСТВО КАБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

### LAUNCHING INTO MANUFACTURE OF NEW GENERATION CABLE PRODUCTS

**Донсков Р. Е., Тимофеев И. Г., Пустовойт М. В., Мардаровский А. Ф.,** АО «СПО «Арктика»;  
+7-921-495-42-80, +7-964-294-06-19, +7-964-264-06-27, +7-921-498-87-78, ogt@spoarktika.ru,  
timofeev.ig@spoarktika.ru, ogt@spoarktika.ru, arktika@spoarktika.ru

**Donskov R. E., Timofeev I. G., Pustovoyt M. V., Mardarovsky A. F.,** JSC «SPO «Arctic»;  
+7-921-495-42-80, +7-964-294-06-19, +7-964-264-06-27, +7-921-498-87-78, ogt@spoarktika.ru, timofeev.ig@spoarktika.ru,  
ogt@spoarktika.ru, arktika@spoarktika.ru.

*В данной статье описан процесс создания и освоения серийного производства судового кабеля нового поколения, соответствующего современным требованиям эксплуатации морской техники и мировому уровню развития научно-технического задела.*

*This article presents the design and development process of mass production of a new generation shipboard cable corresponding to present-day operating requirements of marine engineering and worldwide scientific and technical process stock.*

**Ключевые слова:** кабельная продукция нового поколения, технологические инновации, эксплуатация, пожарная безопасность, электротехническая часть судов и кораблей, кабели судовые, кабели герметизированные огнестойкие, кабели безгалогенные и огнестойкие, судостроительная промышленность, научно-технический задел, АО «СПО «Арктика», модернизация производственных мощностей.

**Keywords:** new generation cable products, technological innovation, operation, fire safety, electrical part of vessels and ships, shipboard cables, fire-resistant sealed cables, halogen-free and fire-resistant cables, shipbuilding industry, scientific and technical process stock, JSC «NPA «Arktika», production capacity modernization.

Для сохранения лидирующих позиций в области мирового технического развития и обеспечения обороноспособности РФ требуется постоянная работа в направлении создания перспективных разработок электротехнической продукции военного назначения.

С 2003 г. при участии ключевых предприятий отрасли началась масштабная работа по повышению технических параметров применяемой на заказах ВМФ РФ номенклатуры судового кабельной продукции до уровней, соответствующих современным требованиям международных и военных стандартов в части эксплуатации электротехнической части военных кораблей и судов.

Данная работа проводилась в инициативном порядке под руководством АО «СПО «Арктика» как

лидирующей организации в области производства электромонтажных и регулировочно-сдаточных работ. Основные направления совершенствования в рамках данной работы:

- создание образцов кабелей нового поколения, обеспечивающих герметичность судовых кабелей при давлении, соответствующем глубине погружения подводных кораблей;
- сохранение показателей пожарной безопасности этих кабелей при возникновении аварийных ситуаций;
- функционирование в штатном режиме определенное количество времени, которое необходимо для выполнения аварийно-спасательных работ и обеспечения живучести объекта.

К основным факторам, создающим аварийную ситуацию на судне, относятся:



Донсков Р. Е.



Тимофеев И. Г.



Пустовойт М. В.



Мардаровский А. Ф.

– поступление забортной воды внутрь прочного корпуса подводного корабля и прохождение её в смежные помещения через кабельные коммуникации, состоящие из негерметизированного кабеля, в результате чего возникает вероятность затопления судна и гибели экипажа;

– возгорание внутри подводного корабля и распространение очага возгорания в смежные помещения судна по кабельным коммуникациям, вследствие чего также возникают риски потери судна и экипажа [1, 2].

В период с 2006 по 2009 гг.:

– были разработаны первые образцы судовых герметизированных огнестойких и безгалогенных кабелей, предназначенных для питания ответственных потребителей в сетях освещения, внутрикорабельной связи, управления электроэнергетической системы, пожарной сигнализации и т. д.;

– пройден ряд государственных приёмочных, квалификационных и типовых испытаний при участии ведущих проектных организаций, головных НИИ, предприятий-производителей и представителей структур МО РФ;

– произведена постановка на производство и серийный выпуск кабелей герметизированных огнестойких и безгалогенных.

На основании действующего Соглашения между Правительствами Украины и РФ о производственной и научно-технической кооперации предприятий оборонных отраслей промышленности от 18.11.1993 г. первоначальная работа по разработке

кабельной продукции нового поколения велась с привлечением ООО «Азовская кабельная компания» и ОАО «УкрНИИКП». Учитывая изменения в политической обстановке и осложнения взаимоотношений между Украиной и РФ, а также появление тенденций по направлению импортозамещения, в период с 2014 по 2019 гг. в соответствии с Решением № 64 от 23.12.2003 г. была реализована работа по созданию дублирующих производств – АО «Экспокабель» и АО «Электрокабель» Кольчугинский завод». На вновь созданных производственных мощностях указанных предприятий была продолжена и в конечном итоге реализована работа по постановке на производство и серийному выпуску кабельной продукции нового поколения [2].

Таким образом, при оперативном и консолидированном подходе предприятий-участников под руководством АО «СПО «Арктика» была проделана масштабная работа по разработке и постановке на производство кабельной продукции нового поколения, изготавливаемой по ТУ 0293–005–07537654–2008 и ТУ 3500–006–07537654–2008.

Сравнительный анализ превосходства основных технических характеристик кабелей судовых герметизированных огнестойких и безгалогенных по отношению к аналогичным кабелям, изготавливаемым по ГОСТ 7866.1–76, ГОСТ 7866.2–76, ТУ 16–505–305–81, отражён в табл. 1.

Сравнительный анализ массогабаритных характеристик кабелей нового и предыдущего поколения показан на рис. 1 и 2.

Таблица 1

Сравнительный анализ основных технических характеристик

Кабели нового поколения	Кабели по ГОСТ 7866.1–76	Кабели по ГОСТ 7866.2–76	Кабели по ТУ 16.505.305–81
Максимальная рабочая температура на жиле, °С			
+85	+65	+75	+75
Стойкость к периодическому воздействию масел			
Стойкие	Стойкие	Не нормируется	Не нормируется
Надежность, ч			
100 000	50 000		
Срок службы, г			
35	Не менее 25		20 – кабели СПОВ, СПОВЭ; 12 – кабели СПОВЭ, СПОВЭЭ
Не распространение горения при пучковой прокладке			
+	-	-	-
Низкое дымовыделение при горении			
+	-	-	-
Отсутствие галогенов			
+	-	-	-
Огнестойкость кабелей			
С индексом FRHF в течение 180 минут при температуре (800±50) °С	-	-	-

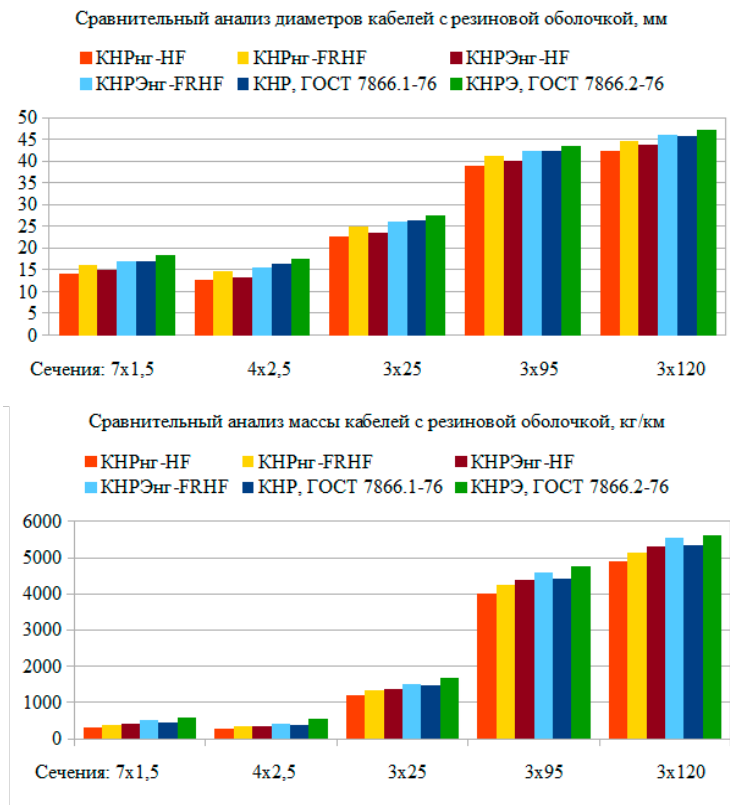


Рис. 1. Сравнительный анализ массогабаритных характеристик кабелей

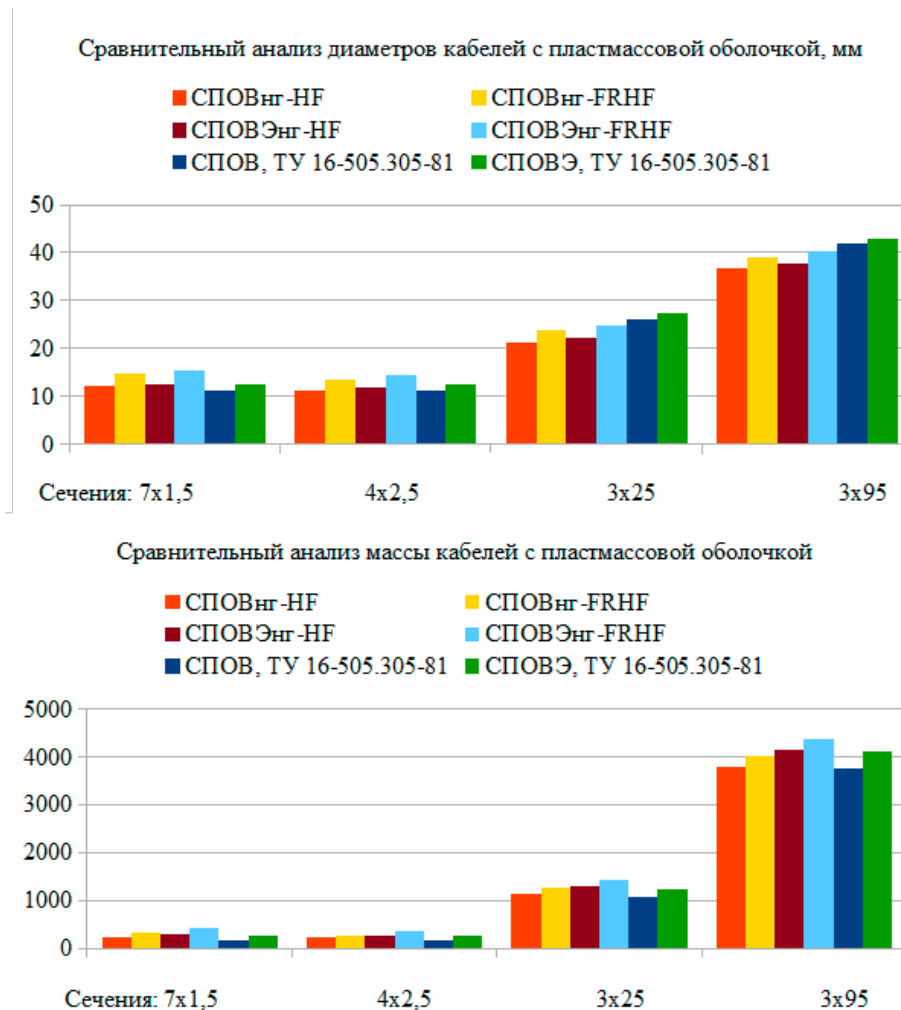


Рис. 2. Сравнительный анализ массогабаритных характеристик кабелей

## Особенности и преимущества кабелей нового поколения

ТУ 0293–005–07537654–2008 «Кабели судовые герметизированные огнестойкие»
Сохранение работоспособности при воздействии открытого пламени – огнестойкость, что обеспечивается применением огнестойких барьеров, сохраняющих электроизоляционные свойства в течение 180 мин при температуре (800±50) °С
Надёжная помехозащищённость кабелей для цепей управления и контроля за счёт наличия в конструктиве экранирующих элементов кабеля
Повышенная стойкость к внешним воздействующим факторам (вибрационным и ударным нагрузкам, воздействию различных маслянистых примесей, морской воды и т. д.)
Наличие продольной герметизации при воздействии гидростатического давления до 4 Мпа
Применение в кабелях марки СМПВГО–40 изоляции из современных «сшиваемых» полимерных материалов и улучшенных резиновых смесей в изоляции и оболочке кабелей типа КРНГО–40, позволяющих обеспечить работу кабельных коммуникаций в кратковременных аварийных режимах при температуре на жилах до 100–120 °С
ТУ 3500–006–07537654–2008 «Кабели судовые безгалогенные и огнестойкие»
Улучшенные массогабаритные характеристики кабелей, большая допустимая токовая нагрузка, что достигается за счёт использования материалов из современных «сшиваемых» полимерных материалов, а также резиновых смесей нового поколения, позволяющих обеспечить рабочую температуру на жилах до 85–90 °С, что позволяет использовать кабель с жилами меньшего сечения при сохранении заданной токовой нагрузки
Увеличенный срок службы (не менее 35 лет), а также срок гарантированной наработки (не менее 130 000 ч)
Повышенная стойкость к внешним воздействующим факторам (вибрационным и ударным нагрузкам, воздействию различных маслянистых примесей, морской воды и т. д.)
Надёжная помехозащищённость кабелей для цепей контроля, связи и передачи данных за счёт скрутки изолированных жил в группы (пары, тройки, четвёрки), а также наличия в конструктиве экранирующих элементов
Высокая пожаробезопасность: – кабели исполнения «нг–HF» основаны на применении при изготовлении безгалогенных материалов с пониженным дымообразованием и низкой удельной теплотой сгорания; – кабели исполнения «нг–LS» основаны на применении при изготовлении материалов с нормированным содержанием галогенов, не поддерживающих горение и пониженным дымообразованием. Кроме того, к конструктивным решениям, направленным на повышение стойкости к нераспространению пламени, относятся заполнение пространства между изолированными токопроводящими жилами специальным материалом-заполнителем, имеющим высокий кислородный индекс 40–55 %, и применение в качестве оболочки материалов с кислородным индексом более 40 %
Сохранение работоспособности при воздействии открытого пламени – огнестойкость, что обеспечивается применением огнестойких барьеров, сохраняющих электроизоляционные свойства в течение 180 мин при температуре (800±50) °С



Рис. 3. Модернизация производственных мощностей АО «Экспокабель»

Особенности и преимущества кабелей нового поколения представлены в табл. 2.

Для обеспечения постановки на производство кабельной продукции нового поколения была выполнена глубокая модернизация производственных мощностей предприятий-производителей кабельной продукции. В результате чего на одном из таких предприятий – АО «Экспокабель», произошло полное обновление парка производственного оборудования, в частности волочильного оборудования, гальванических линий лужения, экструзионных линий, крутильного, оплёточного оборудования и другого оборудования [3, 4].

Отдельные позиции приобретенного оборудования представлены на рис. 3.

В составе приобретённого оборудования применяются технологии бесконтактного измерения диаметра, измерители эксцентриситета и спарк-тестеры. Производственные мощности предприятия укомплектованы современным прецизионным оборудованием, которое даёт возможность производить широкую номенклатуру кабельно-проводниковой продукции на высоком качественном уровне [5, 6].

Таким образом, новая современная технология производства судовых кабелей была разработана с использованием новейшего отечественного и зарубежного оборудования.

Следующим шагом в рамках данных работ было достижение широкого применения кабельной продукции нового поколения в судостроительной промышленности, в частности

на заказах ВМФ. Данная задача была успешно реализована специалистами АО «СПО «Арктика» за счёт разработки и применения комплекта технологической документации по монтажу всей номенклатуры кабельных изделий данной категории.

#### Литература

1. Мещанов Г. И., Холодный С. Д. Физико-математическая модель процесса горения электрических кабелей при групповой прокладке // «Кабели и провода», 2007 г. – № 4. – С. 10–14.
2. Мещанов Г. И., Холодный С. Д. Анализ особенностей горения полимерной изоляции кабелей при их групповой прокладке // «Кабели и провода», 2010 г. – № 5. – С. 10–14.
3. Ермолин Ю. Г., Ляпидов К. С., Трусов С. Н. О применении современных безгалогенных огнестойких кабелей // «Судостроение», 2015 г. – № 1. – С. 45–50.
4. Булычев Д. А., Каменский М. К., Крючков А. А., Савин Д. В., Степанова Т. А., Фрик А. А., Шувалов М. Ю. Применение математического моделирования для сравнительного анализа горения (пиролиза) безгалогенных полимерных композиций в условиях кон-калориметрического эксперимента // «Кабели и провода», 2015 г. – № 2. – С. 7–15.
5. Каменский М. К., Мещанов Г. И., Фрик А. А. Кабели и провода пожаробезопасного исполнения. Современное состояние и тенденции развития // «Кабели и провода», 2017 г. – Спецвыпуск. – С. 30–35.
6. Долголенко В. Т., Ермолин Ю. Г., Пискунов С. М. Современные судовые кабели // «Кабели и провода», 2021 г. – № 4. – С. 23–29.

УДК 519.226.3

### ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТЬ ВЫБОРКИ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ ИНОСТРАННОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ

#### REPRESENTATIVENESS OF A SAMPLE OF FOREIGN-MADE ECB DURING CERTIFICATION TESTS

Гридасов Л. В., ООО «НПЦ «Гранат», lgridasov@npcgranat.ru

Gridasov L. V., LLC «NPC «Granat», lgridasov@npcgranat.ru

*В статье рассмотрен подход к оценке представительности выборки ЭКБ иностранного производства к партии при проведении сертификационных испытаний с учётом имеющейся информации о ранее выявленных случаях брака.*

*The article considers an approach to assessing the representativeness of a sample of foreign-made electronic components to a batch during certification tests, taking into account the available information about previous cases of detection of defects.*

**Ключевые слова:** электронная компонентная база, выборка, сертификационные испытания, теорема Байеса.

**Keywords:** electronic components, sample, certification tests, Bayes' theorem.

Обеспечение качества конечных образцов вооружения военной техники является важной задачей, стоящей перед предприятиями оборонно-промышленного комплекса. В том числе, важной задачей является обеспечение данных образцов качественной современной электронной компонентной базой. К сожалению, несмотря на существенные успехи радиоэлектронной отрасли России в импортозамещении, применение электронной компонентной базы иностранного

производства (далее – ЭКБ ИП) в части образцов вооружения и военной техники является на сегодняшний день объективной реальностью.

Отсутствие возможности контроля технологического процесса производства, отсутствие нормативно-технической документации на ЭКБ ИП, существующие расхождения в требованиях и подходах отечественной и зарубежной нормативной базы ставят под вопрос возможность применения ЭКБ ИП в отечественных

образцах вооружения и военной техники. Решить этот вопрос призваны сертификационные испытания [1].

Сертификационные испытания проводятся на выборке из партии изделий, которыми комплектуют образцы вооружения и военной техники. Нередко возникает ситуация, когда испытательная лаборатория при разработке программы сертификационных испытаний указывает в качестве необходимого объема выборки 5 изделий, а заказчик просит обосновать это количество. Или, к примеру, отсутствует возможность обеспечить выборку на испытания в 5 изделий.

Применение ГОСТ РВ 0020–57.413 и ГОСТ РВ 0020–57.418 видится весьма затруднительным, потому что требования, установленные в приведённых государственных стандартах, предъявляются к производителям электрорадиоизделий, а оценка качества осуществляется комплексно с учётом информации об отказах, имеющих место при производственном контроле. При проведении сертификационных испытаний ЭКБ ИП мы не располагаем сведениями об осуществлении такой оценки [2, 3].

Таким образом, отсутствие нормативной базы, регламентирующей данный предмет, заставляет задаваться вопросом: «Достаточно ли 5 изделий в выборке? А 4-х? А 3-х?» Или, в конечном итоге, с какой достоверностью произойдёт оценка партии изделий размером  $N$  на основании результатов испытаний выборки размером  $n$ ?

Для ответа на этот вопрос решено привлечь в помощь аппарат теории вероятностей. Теорема Байеса позволит оценить вероятность безошибочной оценки партии на основании испытаний выборки [4].

В теореме применены следующие понятия:

– апостериорная вероятность – вероятность случайной переменной, которая назначается после принятия во внимание некоторой новой и связанной с ней информации;

– априорная вероятность – вероятность события, рассматриваемая в противоположность апостериорной вероятности этого же события, до принятия во внимание новой и связанной с ней информацией.

Если условиться, что в знаменателе применяется формула полной вероятности события, то в общем виде теорема Байеса выглядит следующим образом:

$$P\left(\frac{A_j}{B}\right) = \frac{P(A_j)P\left(\frac{B}{A_j}\right)}{\sum_{i=1}^N P(A_i)P\left(\frac{B}{A_i}\right)}, \quad (1)$$

где:

$P(A_j/B)$  – апостериорная вероятность наступления события  $A_j$  при условии верности гипотезы  $B$ ;

$P(A_j)$  – априорная вероятность наступления события  $A_j$ ;

$P(B/A_j)$  – апостериорная вероятность наступления события  $B$  при верности гипотезы  $A_j$ ;

$P(A_j)$  – априорная вероятность наступления события  $A_j$ ;

$P(B/A_j)$  – апостериорная вероятность наступления события  $B$  при верности гипотезы  $A_j$ .

Применим формулу (1) для ответа на поставленный ранее вопрос. Введём две гипотезы [1]:

$A_1$  – гипотеза о правильности предположения о «годности» изделий всей партии;

$A_2$  – гипотеза о неправильности предположения о «годности» изделий всей партии.



Гридасов Л. В.

Тогда:

$P(A_j/B)$  – апостериорная вероятность правильности предположения о «годности» всей партии при условии наступления события  $B$  – проведения успешных испытаний  $n$  штук изделий. Эта вероятность является искомой;

$P(A_j)$  – априорная вероятность наступления гипотезы  $A_j$  – правильности предположения о «годности» изделий всей партии;

$P(B/A_j)$  – вероятность успешного испытания  $n$  изделий из партии, при условии, что гипотеза  $A_j$  верна. Иначе говоря, это вероятность успешно пройти испытания на выборке при «годности» всей партии;

$P(A_2)$  – априорная вероятность наступления гипотезы  $A_2$ ;

$P(B/A_2)$  – вероятность успешного испытания  $n$  образцов, при условии, что гипотеза  $A_2$  верна. То есть, это вероятность успешно пройти испытания на выборке в  $n$  штук изделий при «негодности» остальной партии.

Формула (1) предстанет перед нами в следующем виде:

$$P\left(\frac{A_1}{B}\right) = \frac{P(A_1)P\left(\frac{B}{A_1}\right)}{P(A_1)P\left(\frac{B}{A_1}\right) + P(A_2)P\left(\frac{B}{A_2}\right)}, \quad (2)$$

где:

$P(B/A_1)$  – достоверное событие (равняется 1). Выборка из партии всегда успешно проходит испытания при «годности» всей партии;

$P(A_1)$  – вероятность «годности» партии. Данная вероятность зависит от «качества» изделий в партии и их количества;

$P(A_1)$  и  $P(A_2)$  – противоположные события. Следовательно,  $P(A_1) = 1 - P(A_2)$ . Справедливо и обратное утверждение  $P(A_2) = 1 - P(A_1)$ ;

$P(B/A_2)$  – вероятность, зависящая от вероятности «негодности» партии и от количества изделий в выборке. Пока нам неизвестна.

Один из путей оценки вероятности «годности» партии – оценка вероятности «годности» отдельных составляющих этой партии. Но как оценить «качество» единичного изделия из партии, какова вероятность его «годности»? В случае с ЭКБ ИП ответственность за качество поставляемых изделий несёт поставщик, поэтому имеет смысл ввести некий «коэффициент качества» – упростить оценку вероятного «качества» конкретного изделия от конкретного поставщика до отношения:

$$k = 1 - \frac{m}{M}, \quad (3)$$

где:

$M$  – количество поставленных изделий ЭКБ конкретного поставщика за год;

$m$  – количество забракованных изделий ЭКБ конкретного поставщика за год.

Применив теорему умножения вероятностей, получим, что «годность» партии будет равна:

$$P(A_1) = k_1 * k_2 * \dots * k_N = k^N, \quad (4)$$

Очевидно, вероятность того, что выборка из бракованной партии пройдет испытания с положительным результатом ничтожно мала, однако достоверно установить её значение представляется достаточно трудоёмкой задачей. Поэтому, запомнив, что мы сильно переоценили эту вероятность, можно считать, что она равна:

$$P(B/A_2) = k_1 * k_2 * \dots * k_n = k^n. \quad (5)$$

Вспоминая, что  $P(B/A_1)$  равно 1, а также подставив формулы (4) и (5) в формулу (2), получим:

$$P\left(\frac{A_1}{B}\right) = \frac{k^N}{k^N + (1 - k^N) * k^n}.$$

Таким образом, в формуле вероятности безошибочной оценки партии по результатам испытаний выборки учтены объёмы партии и выборки из этой партии, а также численный «коэффициент качества» изделий. Применим полученные результаты на практике.

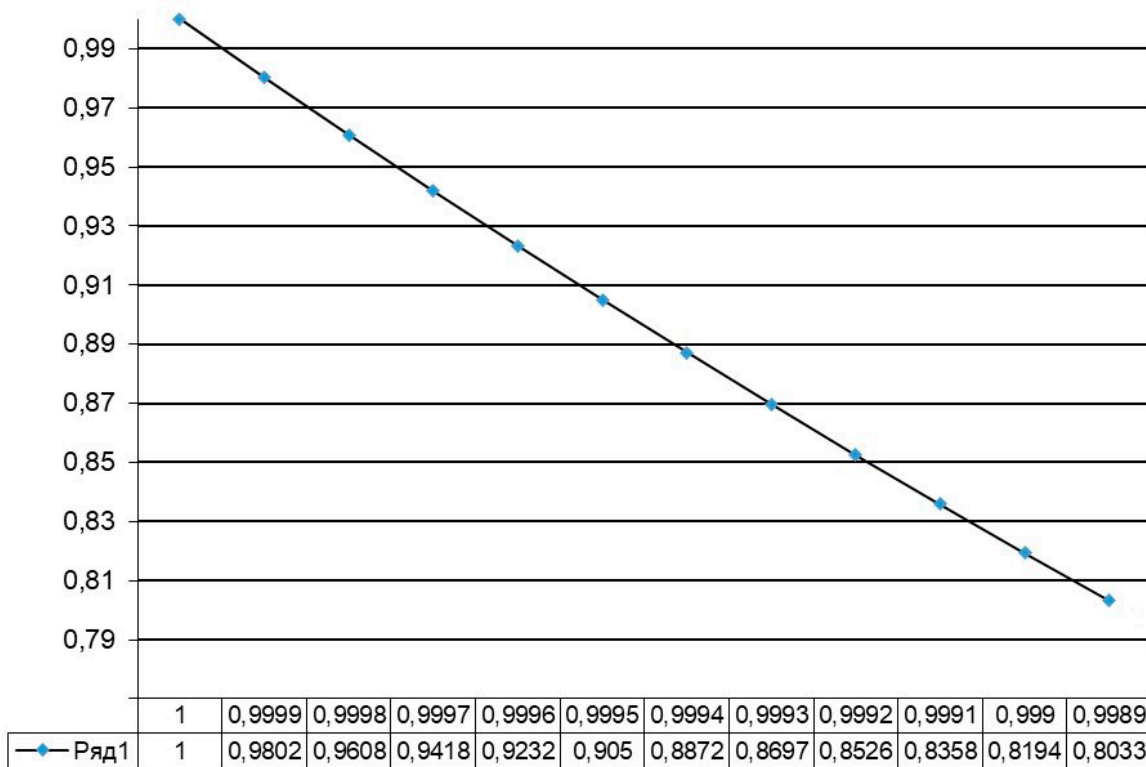


Рис. 1. Зависимость вероятности безошибочной оценки партии от «коэффициента качества», при объеме выборки  $n = 5$ , объеме партии  $N = 200$

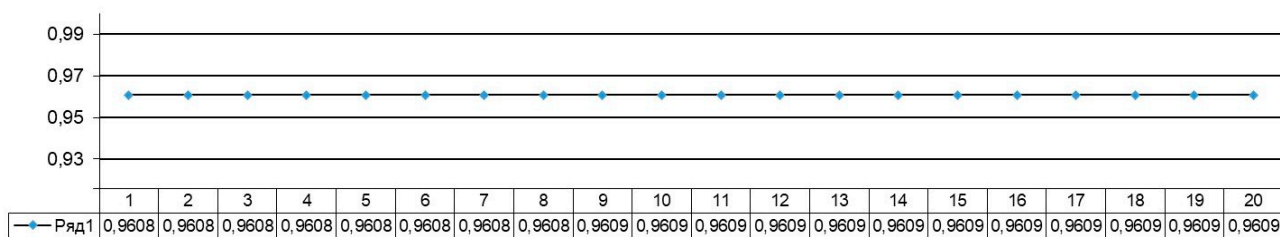


Рис. 2. Зависимость вероятности безошибочной оценки партии от размера выборки, при размере партии  $N = 200$ , «коэффициенте качества» = 0,9998



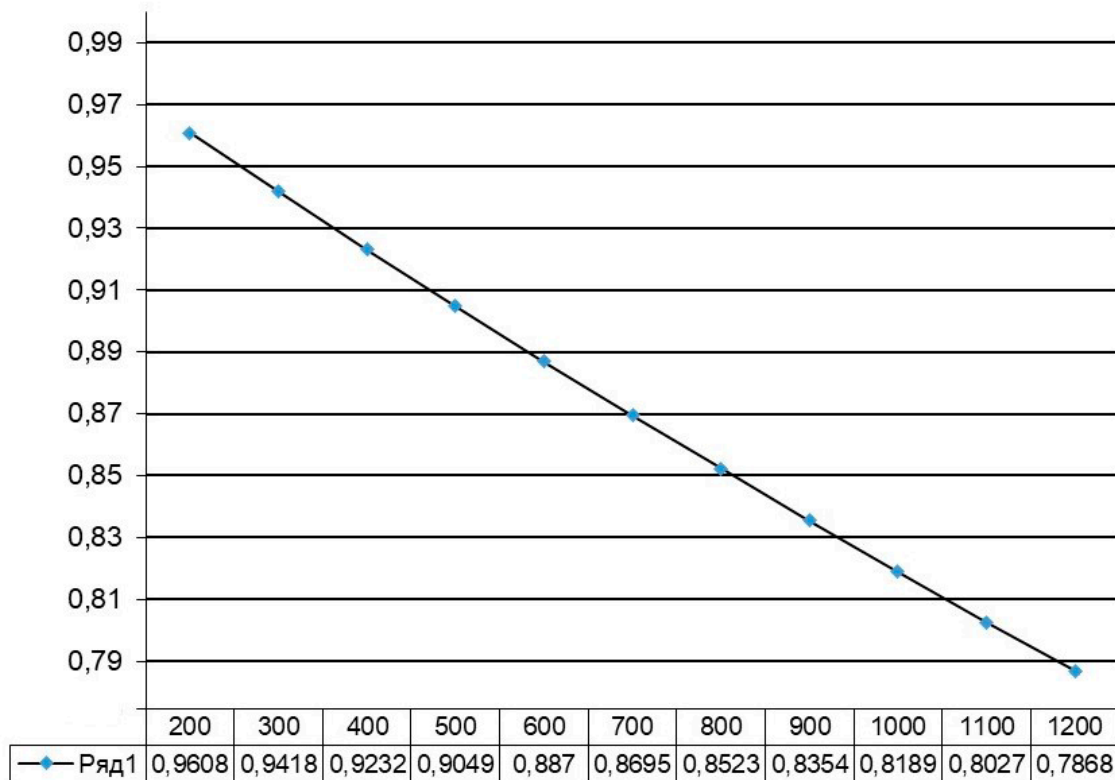


Рис. 3. Зависимость вероятности безошибочной оценки партии от объёма партии, при  $n=5$ ,  $k=0.9998$

Попробуем оценить вероятность безошибочной оценки партии объёмом в 200 изделий по результатам испытаний выборки в 5 изделий. Допустим, что изделия для испытаний поступили от поставщика, о котором известно:

1). За предыдущий год данным поставщиком осуществлена поставка 10000 изделий.

2). Из 10000 изделий 2 оказались бракованными.

В таком случае, средний «коэффициент качества» составит 0,9998.

$$P\left(\frac{A_1}{B}\right) = \frac{0.9998^{200}}{0.9998^{200} + (1 - 0.9998^{200}) * 0.9998^5} = 0.9609.$$

Получившийся результат говорит о том, что вероятность безошибочности оценки партии объёмом 200 изделий по результатам испытаний 5 изделий, полученных от данного поставщика, равна 0,9609. Много это или мало? В ГОСТ РВ 0020–57.414–2020 при оценке показателей безотказности на основе обобщения результатов испытаний используется схожее по смыслу понятие – доверительная вероятность. Максимальное значение, предложенное стандартом – 0,9 [5].

Таким образом, можно сделать вывод, что полученное значение показывает достаточную достоверность испытаний в заданных условиях. Ниже приведены графики зависимости вероятности безошибочной оценки партии от объёма выборки, объёма партии и «коэффициента качества».

Таким образом:

– главным фактором, влияющим на достоверность оценки партии по результатам испытания выборки, является её объём;

– с увеличением объёма накопленных данных по поставкам конкретного поставщика возрастает достоверность оценки;

– увеличение объёма выборки повышает достоверность оценки партии несущественно;

– данная методика неприменима при отсутствии статистики поставок конкретного поставщика.

### Литература

1. Булгаков О. Ю., Подъяпольский С. Б. II Научно-техническая конференция в области комплекса работ по обеспечения качества и надёжности ЭКБ. Подготовка профильных специалистов. Итоги, направления и пути развития / «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения», 2021. – № 1. – С. 10–12.

2. ГОСТ РВ 0020–57.413–2020. Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Контроль качества готовых изделий и правила приемки.

3. ГОСТ РВ 0020–57.418–2020. Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Обеспечение, контроль качества и правила приёмки изделий единичного и мелкосерийного производства.

4. Гаманюк Д. Н. Способ обоснования объёма выборки для испытаний изделий радиоэлектроники // «Технологии в электронной промышленности», 2009. – № 7. – С. 6–8.

5. ГОСТ РВ 0020–57.414–2020. Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Методы оценки соответствия требованиям к надёжности.

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОХРАНЯЕМОСТИ  
ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

ON ONE METHOD FOR FORECASTING INDICATORS OF SAVING THE ELECTRONIC COMPONENT BASE

Веденев Ю. З., к. т. н., Булгаков В. О., ООО «Виантек»; +7 (495) 120-24-36, soft@viantec.ru

Vedeneev Yu. Z., Candidate of Technical Sciences, Bulgakov V. O., «Viantec» LTD;  
+7 (495) 120-24-36, soft@viantec.ru

*В статье предлагается метод прогнозирования показателей сохраняемости электрорадиоизделий, основанный на применении нормального и экспоненциального законов распределения времени хранения до отказа при хранении. Предложена функция нормального распределения до отказа. На примерах рассмотрены оценки среднего и гамма-процентного срока сохраняемости. В статье также приведены данные об использовании и экспоненциального закона на примерах для хранящихся радиоизделий. Рассмотрена процедура практического использования предлагаемого метода.*

*The article proposes a method for predicting the safety indicators of electrical and radio products, based on the application of normal and exponential laws of the distribution of storage time to failure during storage. A function of the normal distribution to failure is proposed. The estimates of the average and gamma-percent retention period are considered using examples. The article also provides data on the use and exponential law by examples for stored radio products. The procedure of practical use of the proposed method is considered.*

**Ключевые слова:** электронная компонентная база, радиоэлектронная аппаратура, сохраняемость, отказы в процессе хранения, измерение параметров, оценка показателей сохраняемости.

**Keywords:** electronic component base, radio-electronic equipment, persistence, failures during storage, measurement of parameters, evaluation of retention indicators.

В настоящее время на многих предприятиях промышленности на складах и в хранилищах хранятся в течение продолжительного времени определённый запас электронной компонентной базы (далее – ЭКБ).

В то же время из-за процессов физического старения существует опасность, что хранившаяся определённое время ЭКБ не сможет обеспечить требуемый уровень сохраняемости радиоэлектронной аппаратуры (далее – РЭА).

В связи с этим необходимо знать предельные сроки хранения ЭКБ на складах, после достижения которых они, будучи поставленными в РЭА, обеспечивают требуемый уровень сохраняемости РЭА. Решение данного вопроса возможно путём прогнозирования показателей сохраняемости ЭКБ.

В настоящей статье рассматривается возможность применения нормального закона распределения времени хранения до отказа при хранении к решению данного вопроса.

Предполагается, что партии ЭКБ, хранящиеся на складах, подвергаются контролю (измерению параметров ЭКБ) и фиксируются моменты отказов ЭКБ.

Рассматриваются два случая:

- 1) имеются отказы в процессе хранения;
- 2) нет отказов в процессе хранения.

Рассмотрим первый случай.

Согласно [1, 2] нормальное распределение времени хранения до отказа образуется как следствие однородности качества ЭКБ и постоянной средней скорости износа, что имеет место при хранении реле, переключателей и соединителей с коэффициентом вариации 0,3. Функция нормального

закона распределения времени хранения до отказа имеет вид:

$$F(t) = \Phi \left[ \frac{(t - T_0)}{\sigma_0} \right], \quad (1),$$

где:

$T_0$  – средний срок сохраняемости ЭКБ;

$\sigma_0$  – среднеквадратическое отклонение срока сохраняемости ЭКБ;

$\Phi[t]$  – табулированная нормальная функция распределения [3].

Тогда выражение для вероятности появления  $i$ -го отказа имеет вид:

$$F(t) = \Phi \left[ \frac{\left( \frac{t}{T_0 - 1} \right)}{\nu} \right] = \Phi \left[ \frac{(x - 1)}{\nu} \right] = \frac{i}{N}, \quad (2),$$



Веденев Ю. З.



Булгаков В. О.

где:

$$x_i = \frac{t_i}{T_0} \quad \text{– относительное время хранения,}$$

которое определяется по значению;

$$F_i = \frac{i}{N}$$

$i$  – количество отказов к моменту времени  $t_i$  ;  
 $N$  – количество ЭРИ, хранящихся на складе, шт.;

$$\nu = \frac{\sigma_0}{T_0} \quad \text{– коэффициент вариации.}$$

В табл. 1 приведены рассчитанные по формуле (3) значения функции нормального распределения при  $\nu = 0,3$ .

Таким образом, оценка вероятности отказа ЭКБ при хранении зависит от двух параметров –  $x$  и  $\nu$ .

Оценки среднего и гамма-процентного срока сохраняемости определяются по формулам:

$$T_0 = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \frac{t_i}{x\left(\frac{t_i}{N, \nu}\right)}, \quad (3)$$

$$T_{cy} = \frac{T_0}{x(1 - \gamma, \nu)}, \quad (4)$$

где:

$r$  – количество отказов ЭРИ при хранении, шт.;

$\gamma$  – доверительная вероятность оценки гамма-процентного срока сохраняемости.

Рассмотрим пример использования метода.

**Пример.** На складе находились на хранении 1000 шт. соединителей в течение 15 лет. Измерение параметров проводилось в моменты времени хранения: 1 год, 3 года, 4,5 года, 5 лет, 10 лет, 15 лет. Отказало 3 шт. соединителей в моменты времени:  $t_1 = 5$  лет = 43800 ч,  $t_2 = 10$  лет = 87600 ч,  $t_3 = 15$  лет = 131400 ч. Необходимо определить средний и гамма-процентный срок сохраняемости соединителей при  $\gamma = 0,95$ .

**Решение:** вычисляем экспериментальную вероятность, соответствующую первому отказу

$$F_1 = \frac{1}{N} = \frac{1}{1000} = 0,001.$$

По значению  $F_1 = 0,001$  по табл. 1 находим

$$x_i = \frac{t_i}{T_0} = 0,079.$$

Аналогично находим:  $F_2 = 0,002$ ,  $x_2 = 0,14$ ,  $F_3 = 0,003$ ,

$x_3 = 0,179$ . Подставляя найденные значения в (3) и (4), получим:

$$T_0 = \frac{1}{3} \left( \frac{43800}{0,079} + \frac{87600}{0,14} + \frac{131400}{0,179} \right) = \frac{1}{3} 1914222 \text{ ч} = 638074 \text{ ч} = 72,84 \text{ года,}$$

$$T_{cy} = 72,84 \cdot 0,505 = 36,78 \text{ года}.$$

Метод даёт реальные оценки показателей сохраняемости по сравнению с методом, использующим популярный экспоненциальный закон распределения времени хранения до отказа при хранении.

При экспоненциальном законе распределения при тех же данных по отказам имеем:

$$\left(1 - \frac{3}{1000}\right) = \exp\left(\frac{-t_3}{T_0}\right)$$

$$T_0 = \frac{-t_3}{\ln\left(1 - \frac{3}{1000}\right)} = \frac{-1314000}{\ln 0,997} = 4380000 \text{ ч} = 5000 \text{ лет.}$$

Для оценки гамма-процентного срока сохраняемости получаем:

$$\tilde{T}_{cy} = \tilde{T}_0 \cdot \ln\left(\frac{1}{\gamma}\right) = 5000 \cdot 0,104 = 520 \text{ лет}.$$

Нетрудно видеть, что оценки  $T_0$  и  $T_{cy}$  при экспоненциальном законе распределения времени хранения до отказа явно завышены (согласно  $T_{cy}$  на соединители составляет 15–25 лет).

Рассмотрим случай, когда партии ЭКБ, хранящиеся на складах, не имеют отказов после момента времени хранения  $t_u$ . Вычисляют нижнюю границу вероятности отсутствия отказов при хранении за время  $t_u$  по формуле, приведённой в [2]:

$$\underline{P}(t_u) = \left[ \frac{1 - \alpha}{2} \right]^{\frac{1}{N}}, \quad (5)$$

где:

$\alpha$  – доверительная вероятность оценки искомого параметра  $T_0$ , соответствующая двустороннему доверительному интервалу.

Вычисляют нижнюю доверительную границу параметра  $T_0$  для рассматриваемой схемы хранения, решая уравнение:

$$\underline{P}(t_u) = \Phi \left[ \frac{(t - T_0)}{\sigma_0} \right], \quad (6)$$

При установленном значении из последнего уравнения получают оценку нижней доверительной границы параметра  $T_0$  в следующем виде:

$$\underline{T}_0 = \frac{t_u}{x[1 - \underline{P}(t_u), \nu]} = t_u \cdot K_1(\underline{P}, \nu), \quad (7)$$

Таблица 1

Значения нормальной функции распределения при  $\nu = 0,3$

X	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0001	0,0011	0,0013
0,1	0,0014	0,0015	0,0017	0,0019	0,0021	0,0024	0,0026	0,0028	0,0031	0,0035
0,2	0,0039	0,0042	0,0047	0,0052	0,0057	0,0062	0,0069	0,0076	0,0082	0,0090
0,3	0,0097	0,0107	0,0118	0,0130	0,0139	0,0152	0,0165	0,0180	0,0193	0,0206
0,4	0,0230	0,0250	0,0270	0,0290	0,0313	0,0336	0,0360	0,0390	0,0420	0,0450
0,5	0,0483	0,0513	0,0550	0,0590	0,0630	0,0670	0,0717	0,0764	0,0810	0,0860

где:

$$K_1(P, \nu) = \frac{1}{x[1 - P(t_u, \nu)]} \quad - \text{ поправочный}$$

коэффициент, учитывающий эмпирическую вероятность отсутствия отказа;

$x[1 - P(t_u, \nu)]$  – относительное время хранения

$$x = \frac{t_u}{T_0} \quad \text{определяется из табл. 1 по значениям}$$

$$F = 1 - P(t_u) \quad \text{и } \nu = 0,3.$$

Точечную оценку параметра  $T_0$  определяют из уравнения:

$$\Phi \left[ \frac{\frac{T_0}{T_0 - 1}}{\nu} \right] = \alpha, \quad (8)$$

Решением уравнения (8) относительно  $T_0$  является выражение:

$$\tilde{T}_0 = \frac{T_0}{x(1 - \alpha, \nu)} = \underline{T}_0 \cdot K_2(\alpha, \nu), \quad (9)$$

где:

$$K_2(\alpha, \nu) = \frac{1}{x(1 - \alpha, \nu)} \quad - \text{ поправочный}$$

коэффициент, учитывающий распределение времени хранения.

Таким образом, точечная оценка параметра  $T_0$  имеет вид:

$$T_0 = t_u \cdot K_1(P, \nu) \cdot K_2(\alpha, \nu), \quad (10)$$

Пример.

На складе хранились соединители в количестве 1000 шт., за время 4,5 года отказов не наблюдалось. Необходимо определить средний и гамма-процентный срок сохраняемости.

Решение:

1. Вычисляем нижнюю доверительную границу вероятности отказа по формуле (5) для  $\alpha = 0,6$ :

$$P(t) = \left[ \frac{(1 - 0,6)}{2} \right]^{1/1000} = 0,9984.$$

2. Используя табл. 1, определяем:

$$x(1 - P, \nu) = x(0,0016; 0,3) = 0,115$$

и далее вычисляем

$$K_1 = \frac{1}{0,115} = 6,66.$$

3. Затем определяем второй коэффициент:

$$x(1 - \gamma, 0,3) = x(0,4; 0,3) = 0,48$$

$$\text{и } K_2 = \frac{1}{0,48} = 2,08.$$

Подставляем найденные значения в формулу (10):

$$T_0 = 6,66 \cdot 4,5 \cdot 2,08 = 62,34 \text{ года.}$$

По формуле (4) определяем гамма-процентный срок сохраняемости при  $\gamma = 0,95$

$$T_{c\gamma} = 62,34 \cdot 0,505 = 31,48 \text{ года.}$$

Таким образом, для практического применения метода необходимо иметь информацию о количестве отказов ЭКБ (или их отсутствии) при хранении и времени их появления, а также знать количественные значения коэффициента вариации для данной группы ЭКБ.

Метод прост в применении и даёт более точные результаты по сравнению с методом, использующим экспоненциальный закон распределения времени хранения до отказа при хранении.

Метод может быть использован для оценки показателей сохраняемости ЭКБ, находящихся на длительном хранении на складах, а также при оценке возможности продления сроков сохраняемости ЭРИ в составе РЭА.

### Литература

1. Дружинин Г. В. Надёжность автоматизированных систем. – М.: Энергия, 1977. – 535 с.
2. Стрельников В. П., Федухин А. В. Оценка и прогнозирование надёжности электронных элементов и систем. – К: Логос, 2002. – 485 с.
3. Шор Я. Б., Кузьмин Ф. И. Таблицы для анализа контроля надёжности. – М.: Советскорадио, 1968. – 283 с.

УДК 005.6

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОДУКЦИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР

### QUALITY ASSURANCE OF RADIO ELECTRONIC PRODUCTS IN ENTERPRISES WITH DIFFERENT TYPES OF ORGANIZATIONAL STRUCTURES

**Коршунов Г. И.**, д. т. н., профессор, ООО «ПАНТЕС груп», ГУАП; **Романец В. И.**, ФГАОУ ВО СПбПУ;  
+7 -951-961-59-96, romanec-2000@yandex.ru; **Зотов Н. А.**, ЗАО «РЕОМ»

**Korshunov G. I.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, ООО «PANTES Group», SUAI; **Romanets V. I.**,  
FGAOU VO SPbPU; +7-951-961-59-96, romanec-2000@yandex.ru; **Zotov N. A.**, CJSC «REOM»

В данной статье рассмотрены вопросы обеспечения качества радиоэлектронной продукции в условиях поэтапного внедрения элементов концепции «Индустрия 4.0». Выделены ключевые особенности менеджмента качества на предприятиях с различной организационной структурой, включая применимость отдельных категорий инструментов и методов.

*This article discusses the issues of quality assurance of radio-electronic products in the context of the phased implementation of the elements of the «Industry 4.0» concept. The key features of quality management at enterprises with different organizational structures are highlighted, including the applicability of certain categories of tools and methods.*

**Ключевые слова:** качество, технологические инновации, организационные структуры, система менеджмента качества.

**Key words:** quality, organizational structures, technological innovations, quality management system.

## Введение

Необходимость постоянного обеспечения качества радиоэлектронной продукции не вызывает сомнений. В области производства электроники это связано с возрастающими требованиями по миниатюризации, качеству паяк и т. д. В настоящее время наибольшее внимание вызывает поверхностный монтаж печатных плат наряду с другими видами технологических процессов. Основой современных автоматических линий в этой области является технология, выполненная в соответствии со стандартом IPC-SMEMA-9851, обычно называемого «стандартом SMEMA». Стандартная конфигурация, допускающая расширение, обеспечивала электрическую и механическую совместимость. Создание новых возможностей предусмотрено стандартом Hermes, опубликованным также как IPC-HERMES-9852 [1]. Этот стандарт является непатентованным открытым протоколом, основанным на TSP/IP и XML. Он выводит обмен данными, связанными с печатными платами, между различными машинами на сборочных линиях электроники на новый уровень. Стандарт Hermes был инициирован, разработан и установлен и в дальнейшем поддерживается группой ведущих поставщиков оборудования, объединяющих свой опыт для достижения большого шага на пути к продвинутой интеграции процессов. В наиболее полном составе структура SMT производства (фирмы Saki America, Inc.) [2] представлена на рис. 1.

Поэтапное внедрение элементов концепции «Индустрия 4.0» обеспечивает повышение качества продукции [3], и при достижении всех необходимых факторов, влияющих на пригодность и воспроизводимость процессов, может быть реализована стратегия «Нулевой уровень дефектов». Индексы пригодности  $Spk$  и воспроизводимости  $Stk$  определяют возможности процесса. Значения этих индексов является основой для статистической оценки качества продукции. Задачи и проблемы реализации стратегии «Нулевой уровень дефектов» требуют отдельного рассмотрения [4].

Жизненный цикл изделий радиоэлектроники предусматривает анализ состояний будущего изделия в последовательности проект-ных и производственных процедур и операций; синтез управлений на основе обобщенного функционала



Коршунов Г. И.



Романец В. И.

«максимума вероятности обеспечения качества», включающего вероятность  $P$  выполнения требований ТЗ:

$$\Phi_0 = \max P(V_0, W_0),$$
 где  $V_0$  и  $W_0$  «начальные» параметры и критерии и на последующих этапах их согласование вплоть до «n-го» этапа подготовки производства;

$$\Phi = \max P [K_1 \geq K_{10}, K_2 \geq K_{20}, \dots, K_j \leq K_{j0}, K_{j+1} \leq K_{(j+1)0}, \dots, K_n \leq K_{n0}], \quad (1)$$

где  $\{K_j\}$ ,  $1 \leq j \leq n$  – требования ТЗ, включающие основные требования (характеристики качества). Здесь под качеством понимается степень соответствия совокупности присущих характеристикам объекта требованиям. Функционал (1) представлен в общем виде, однако его вид на отдельных стадиях жизненного цикла принимает частные формы, в зависимости от актуальных на этой стадии характеристик качества. В данной работе из общего функционала выделены динамические характеристики работоспособности.

На этапах проектирования изделия оказывается возможным управлять качеством продукции и обеспечивать качество производства на этапах проектирования, технологической подготовки и производства. Для этого необходимо развивать и постоянно совершенствовать СМК.

Большинство российских производителей также ориентированы на этот мировой процесс, сопровождающийся постоянным

совершенствованием за счёт внедрения инноваций. Этот вопрос требует специального рассмотрения с точки зрения адаптации оборудования к российским условиям и его постепенной локализации. В то же время большое значение имеет достижение результативности таких технологий для обеспечения качества. В этом смысле имеет место разница по внедрению, загрузке мощностей, гибкости во внедрении технологических инноваций.

Усложнение хозяйственной деятельности человека приводит к возникновению различных типов организационных структур управления. Большинство существующих классификаций выделяет следующие четыре типа:

1. Функциональная структура, подразумевающая формирование подразделений на основе выполнения ими определённой функции организации.

2. Дивизиональная структура, в основу которой заложена ориентация на конкретный регион, сегмент потребителей или линию продуктов.

3. Проектная структура, которая постоянно видоизменяется для выполнения конкретных проектов.

4. Матричная структура, формирующаяся на принципах двойного подчинения [5].

Функциональные и дивизиональные структуры составляют механическую группу, проектные и матричные – органическую.



Зотов Н. А.

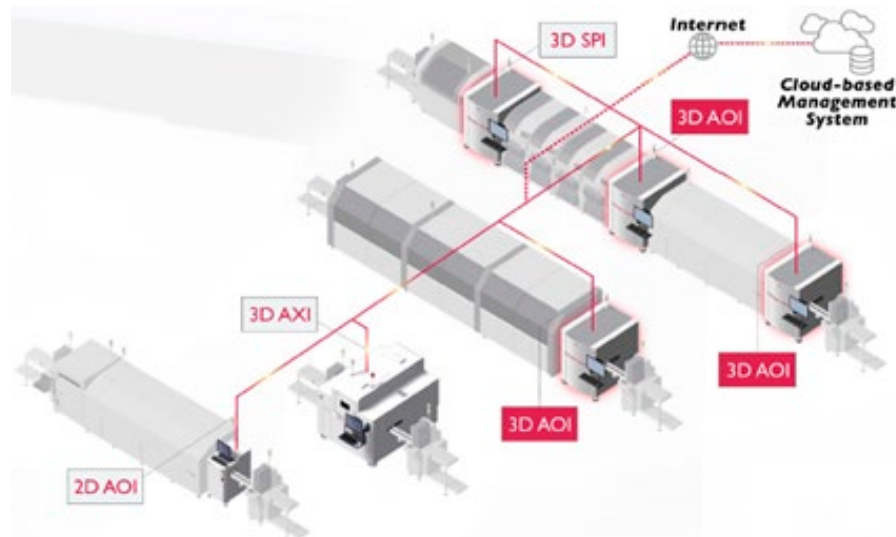


Рис. 1. Производственная линия фирмы Saki America, Inc

Особенностью предприятий стран СНГ является широкое распространение структур управления механического типа ввиду не столь давнего перехода от командной экономики к рыночной. Переход к гибкой структуре требует, как материально-трудовых и информационных ресурсов, так и перемен в мировоззрении предпринимателей, часто предпочитающих органическим структурам проверенные временем функциональные и дивизиональные. В то же

время предприятия инновационной сферы или организации, нацеленные на международное сотрудничество, как правило, предпочитают в той или иной мере приближать структуру управления к органическому типу при наличии необходимых ресурсов (прежде всего информационных).

Целью данной работы является обеспечение качества радиоэлектронной продукции на основе учёта основных особенностей менеджмента качества на предприятиях с различной организационной структурой.

### Менеджмент качества в функциональных структурах

Очевидной трудностью для функционального типа структур является адаптация к требованиям ГОСТ Р ИСО 9001–2015 в части реализации процессного подхода и ориентации на потребителя [6]. Исполнители и руководители нижних уровней, составляющие большую часть штата компании, не видят своего вклада в качество конечного продукта. Затрудняется также идентификация входов и выходов подпроцессов при рассмотрении деятельности, предполагающей близкое взаимодействие между несколькими функциональными подразделениями. Планирование действий в отношении рисков и возможностей ограничено ввиду затрудненности применения системного подхода функциональными руководителями среднего звена.

Функциональные структуры организаций в целом позволяют эффективно применять методы статистического контроля качества, однако требуют высоких временных затрат на рассмотрение функциональных участков процессов по отдельности. Кроме того, устранение особых причин изменчивости затруднено недостаточным развитием горизонтальной координации действий работников.

При рассмотрении комплексных инструментов менеджмента качества (примеры приведены в [7]) в рамках функциональной структуры важно выделить сложность в применении инструментов, ориентированных на общий результат производственных процессов ввиду отсутствия руководителей нижнего звена, имеющих ответственность и полномочия контролировать весь процесс производства конкретного продукта. Примером такого инструмента является развертывание функции качества (Quality Function Deployment). Более доступными в условиях функциональной структуры могут быть методы, ориентированные на численные показатели – для их применения, как правило, координация межфункционального взаимодействия необходима лишь на этапе разработки нового продукта.

### Менеджмент качества в дивизиональных структурах

Верховное руководство в дивизиональных структурах осуществляется генеральным директором и его заместителями (директоры по финансам, маркетингу, качеству и т. д.). Следующий уровень управления представлен менеджерами, возглавляющими автономные подразделения предприятия – дивизионы. Дивизиональная система значительно сокращает время принятия решений, касающихся конкретного рынка, а также упрощает координацию действий функциональных служб [5, 8]. В то же время возникновение крупных автономных подразделений может существенно усложнить проведение единой политики развития организации. Кроме того, возникают дополнительные затраты, связанные с дублированием подразделений на уровне дивизионов.

Приближение межфункционального менеджмента к менеджерам нижнего звена упрощает выполнение

проблемных для функциональных структур требований ГОСТ Р ИСО 9001–2015, связанных с применением процессного подхода, ориентацией на потребителя, управлением рисками и знаниями. При этом сохраняется проблема обмена знаниями общего типа на междивизиональном уровне и усложняется задача поддержания целостности системы менеджмента качества при планировании изменений.

В отношении применения статистических методов контроля качества дивизиональные структуры идентичны функциональным за исключением некоторого упрощения на уровне дивизионов вследствие исключения из рассматриваемых факторов особенностей отдельных рынков.

Особенности применения комплексных инструментов менеджмента качества зависят от критериев выделения дивизионов. Сегментация по продуктам упрощает использование FMEA-методологии вследствие уменьшения разнообразия технологических процессов. Сегментация по клиентам способствует снижению временных затрат на применение QFD-методологии в результате концентрации на рассмотрении потребностей и ожиданий четко определённой группы клиентов. При формировании дивизионов по региональному признаку применимость тех или иных инструментов определяется спецификой региона.

### Менеджмент качества в проектных структурах

Проектная организация предполагает формирование временных команд, ориентированных на выполнение конкретного проекта. Координацию работы проектной команды и контроль за применением доступных ресурсов осуществляет менеджер проекта. Объединение специалистов разных профилей в одну команду эффективно решает проблему межфункционального взаимодействия, характерную для вышеупомянутых бюрократических структур. При этом возникает проблема управления человеческими ресурсами по завершению проекта – при отсутствии вакантного места в другой проектной команде руководство предприятия вынуждено либо увольнять потенциально ценные кадры, либо соглашаться с простоям сотрудника.

Менеджмент качества в проектной деятельности имеет ряд особенностей, а потому регулируется рядом отдельных стандартов. Одним из определяющих документов является ГОСТ Р ИСО 10006–2019 (Менеджмент качества. Руководящие указания по менеджменту качества в проектах), согласованный с ИСО 9000:2015 и ИСО 9001:2015 [9]. ГОСТ Р ИСО 10006–2019 близок по содержанию к ИСО 9001:2015, однако уделяет большее внимание управлению персоналом (в первую очередь, командой проекта) и временем. Проблемные для механических структур требования значительно проще выполняются в контексте органической проектной структуры. Ориентация на потребителя легко реализуется сосредоточением усилий команды на создании конкретного продукта. Управление рисками может успешно осуществляться правильно обученным

менеджером проекта. Обмен межфункциональными знаниями поддерживается также самими членами команды. В процессе реализации проекта может быть эффективно реализовано управление человеческими ресурсами и построена близкая к оптимальной среда для функционирования процессов. В то же время на этапе завершения крупного проекта эффективное управление человеческими ресурсами и знаниями затруднено ввиду вышеупомянутой необходимости перераспределения сотрудников и сложности документирования знаний, являющихся результатом межличностного взаимодействия в рамках отдельного проекта.

Эффективность применения методов менеджмента качества зависит от особенностей конкретного проекта. В [10] рассмотрено применение в управлении качеством проекта различных практик TQM на разных стадиях реализации проекта в соответствии с позициями PMI, COBNET и PRINCE2. Поскольку управление качеством проекта обычно осуществляется непосредственно менеджером проекта (то есть лицом, ответственным за общее межфункциональное управление ходом работ), возрастает роль инструментов общего менеджмента в менеджменте качества. Среди таковых можно выделить бенчмаркинг, проводимый с целью выявления потребности в изменениях и перекрёстный SWOT-анализ, проводимый в целях выявления действий, позволяющих бороться с рисками и эффективно использовать возможности. В нестандартных ситуациях может быть полезно применение метода мозгового штурма, выделяемого рядом авторов в качестве нового инструмента управления качеством [11].

#### **Менеджмент качества в матричных структурах**

В матричных структурах существует как вертикальная функционально-линейная (реже – дивизиональная) иерархия, так и горизонтальное деление сотрудников на проектные команды. Менеджеры проектов распределяют задачи между членами команды и контролируют их выполнение, в то время как функциональные руководители распределяют сотрудников по командам и определяют способы выполнения задач [5]. Такой способ организации работ позволяет сохранить все плюсы проектной структуры, решая при этом проблему управления человеческими ресурсами по завершению проекта и упрощая проведение централизованной политики развития предприятия. При этом матричные структуры чрезвычайно сложны для понимания и часто приводят к конфликтам между вертикальными и горизонтальными руководителями.

Внедрение системы менеджмента качества в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 9001–2015 достаточно удобно осуществлять на базе матричной структуры ввиду прозрачности как функциональных вертикальных связей, так и горизонтальных процессов. Перечисленные выше требования, проблемные для других типов структур, во многом выполняются автоматически при проектировании матричного менеджмента.

Проще всего в данном контексте рассматривать матричную структуру как близкую к проектной, но нивелирующую проблемы управления изменениями, знаниями и человеческими ресурсами с помощью функциональных вертикально-ориентированных подразделений. Общий вид матричной структуры представлен в [12], рекомендации и пример внедрения СМК продемонстрированы в [13].

Статистический контроль качества в матричных структурах следует осуществлять как менеджерам проектов при рассмотрении основных общих показателей проекта, так и функциональным менеджерам при анализе важнейших и наиболее специфичных показателей отдельных участков производственного процесса. Особенностью матричных систем является возможность эффективного разделения полномочий по работе с обычными и особыми причинами изменчивости между вертикальным и горизонтальным руководством соответственно.

Применимость комплексных методов менеджмента качества во многом зависит от отраслевой специализации предприятия и целевой серийности производства, в чём матричные структуры также близки проектным. В классическом случае удобно применение поточной диаграммы процесса ввиду наличия у руководителя проекта исчерпывающей информации о процессе и возможности оперативного обращения к функциональному руководству с целью уточнения специализированных вопросов. По той же причине эффективно может быть применение таблиц качества, являющихся основой QFD-методологии [7].

#### **Выводы**

Актуальность рассмотренных в статье вопросов определяется выраженной дифференциацией российских предприятий по типу организационной структуры при общей высокой заинтересованности в развитии СМК. Функциональная и дивизионная структуры в большей степени соответствуют процессному подходу, являющемуся основой СМК. Поэтому предприятия, условно относящиеся к малому и среднему бизнесу, могут развиваться более динамично. В то же время отнесение предприятий к названным категориям достаточно условно, так как интеллектуальные (умные) предприятия могут содержать несколько человек персонала и значительный производственный потенциал. Что касается развития и актуализации СМК, то в бюрократических иерархических структурах, как правило, реальные бизнес-процессы оказываются слабо связанными с высшим менеджментом. Это объясняется недостаточным уровнем организации или формальным отношением к СМК.

Согласно описанным в статье особенностям наиболее удобны для интеграции СМК матричные структуры управления. В связи с торможением распространения данных структур ввиду высокой сложности для восприятия дальнейшие исследования и сформированные на их основе рекомендации могут значительно повысить популярность матричных структур и, как следствие, ускорить процесс внедрения СМК на российских предприятиях.



**Литература**

1. IPC-Hermes-9852. The Hermes Standard for vendor independent machine-to-machine communication in SMT Assembly Version 1.1. (2018).
2. Satoshi O. and Y. Watabe: Saki Self-Programming Software Accelerates 3D Inspection and M2M Communication. In: Manufacturing Production Technology, Hardware & Services. (2018).
3. Сольнищев Р. И., Коршунов Г. И. Об инструментарию проектирования и производства кибер-физических систем. // Наука и бизнес: пути развития, 2020. – № 6 (108). – С. 102–107.
4. Коршунов Г. И., Петрушевская А. А. Обеспечение качества продукции в интеллектуальных производствах электроники. // Контроль качества продукции, 2021. – №№ 8, 9. – С.43–51.
5. Быкова А. Организационные структуры управления / А. Быкова. – М.: ОЛМА-ПРЕСС Инвест: институт экономических стратегий, 2003 – С. 22–59.
6. ГОСТ Р ИСО 9001–2015. Системы менеджмента качества. Требования.
7. Управление качеством процессов и продукции. В 3-х кн. Кн. 2: Инструменты и методы менеджмента качества процессов в производственной, коммерческой и образовательной сферах: учебное пособие / С. В. Пономарев, Г. А. Соседов, Е. С. Мищенко и др.; под ред. д. т. н., проф. С. В. Пономарева. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. С. 78–161.
8. Катернюк А. В. Исследование систем управления. Введение в организационное проектирование / А. В. Катернюк: учеб. пособие. – М.: Высшее образование. – 2009. – 315 с.
9. ГОСТ Р ИСО 10006–2019. Менеджмент качества. Руководящие указания по менеджменту качества в проектах.
10. Султанов А. И. Управление качеством проекта: концептуальные подходы и практические методы. // Методы менеджмента качества, 2020. – № 10. – С. 14–21.
11. Всеобщее управление качеством: учебник для вузов / О. П. Глудкин, Н. М. Горбунов, А. И. Гуров, Ю. В. Зорин / под ред. О. П. Глудкина. – М.: Радио и связь, 1999. – 600 с.
12. Гаффорова Е. Б., Гаффоров Ж. С. Совершенствование системы менеджмента предприятия на основе матричной структуры управления / Е. Б. Гаффорова, Ж. С. Гаффоров// Стандарты и качество, 2008. – № 7. – С. 66–69.
13. Версан В. Г. Менеджмент качества как подсистема матричной структуры управления предприятием / В. Г. Версан//Стандарты и качество, 2008. – № 5. – С. 56–59.

УДК 658.711.4

**МЕТОДИКА ВЫБОРА КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ ПОСТАВЩИКОВ  
ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ****METHODOLOGY FOR SELECTING QUALIFIED SUPPLIERS OF ELECTRONIC COMPONENT BASE**

**Булгаков О. Ю.**, к. воен. н., заслуженный работник связи РФ, АНО «Электронсертифика»;  
+7 (985) 725-73-68, bulgakov56@yandex.ru

**Bulgakov O. Y.**, Ph.D. of Military Sciences, honored Worker of Communications of the Russian Federation,  
ANO «Electroncertifica»; +7 (985) 725-73-68, bulgakov56@yandex.ru

*В статье рассматриваются вопросы обоснования выбора и модель выбора квалифицированного поставщика электронной компонентной базы, критериев, показателей и оценки квалифицированных поставщиков. Описываются вопросы выбора критериев, показателей и методов оценки квалифицированных поставщиков продукции, удовлетворенности их деятельностью по поставке электронной компонентной базы, а также определяются подходы к их выбору и обоснованию.*

*The article discusses the issues of rationale for the choice and the model for choosing a qualified supplier of an electronic component base, criteria, indicators and evaluation of qualified suppliers. The article describes the selection of criteria, indicators and methods for assessing qualified suppliers of products, satisfaction with their activities for the supply of electronic component base, and also determines the approaches to their selection and justification.*

**Ключевые слова:** квалифицированный поставщик электронной компонентной базы (продукции), выбор квалифицированного поставщика электронной компонентной базы, модель выбора, показатели и критерии выбора поставщика продукции.

**Keywords:** qualified supplier of electronic component base (products), selection of a qualified supplier of electronic component base, selection model, indicators and criteria for selecting a product supplier.

Проведённый в Системе добровольной сертификации «Электронсерт» и АНО «Электронсертифика» за последние 5 лет анализ функционирования рынка поставок электронной компонентной базы, в том числе и электронных компонентов (далее – продукции) для разработчиков и производителей радиоэлектронной аппаратуры (далее – РЭА), показал, что бессистемный, необоснованный, интуитивный подход к решению этих задач зачастую приводит к затратам больших сумм на её приобретение, а иногда и к приобретению контрафактной продукции. В результате можно с достаточной долей вероятности предположить, что заказчик ЭКБ зачастую подвергает себя риску заключить договор с недобросовестным квалифицированным поставщиком (далее – КвП) продукции и в результате получить некачественную (контрафактную) ЭКБ (продукцию), не в указанные сроки, с превышением договорной цены.

Отношение заказчика к КвП продукции напрямую влияет на то, как КвП продукции относятся к ним. Наиболее крупные заказчики осознают свою власть над КвП продукции и часто используют это в своих целях, навязывая свои требования. С другой стороны, желание КвП продукции как можно больше заработать на поставках, не обеспечивает достаточных деловых и гармонических отношений между ними и заказчиками [1, 2, 3].

Соблюдение системных правил в сфере отношений между КвП продукции и заказчиками является важным шагом на пути к выстраиванию деловых партнёрских отношений и поможет творчески, а также с научной точки зрения, применяя математический аппарат, решать вопросы обоснования выбора конкретного КвП и соответствующей продукции [4, 5].

В излагаемой ниже методической разработке

предлагаются некоторые подходы в решении вопроса выбора КвП продукции.

### 1. Обоснование выбора и модель выбора квалифицированного поставщика продукции

В общем случае обоснование выбора КвП продукции предполагает решение двух взаимосвязанных задач:

- разработка критериев и показателей оценки КвП продукции;
- выбор КвП продукции на основе разработанных показателей оценки.

Из этого следует, что выбор КвП продукции в самом общем виде можно описать моделью вида [6, 7].

$$g = \{Q, A\}, \quad (1.1)$$

где:

$g$  – КвП продукции;

$Q$  – множество показателей оценки КвП продукции;

$A$  – множество критериев оценки КвП продукции. Таким образом, из (1.1) следует, что каждому показателю должны соответствовать свои оценочные критерии.

В качестве показателей оценки КвП могут выступать:

$S$  – чистота юридического оформления КвП, наличие свидетельства о квалификации поставщика продукции, сертификатов соответствия стандартам серии ISO 9001 и иных сертификатов;

$Z$  – обеспеченность ресурсами (финансовая устойчивость, трудовые ресурсы, численный и компетентный состав, собственный персонал КвП продукции);

$R$  – реализуемость КвП предлагаемой продукции (качество продукции; цена продукции, предлагаемые финансовые условия (меньше аванс – меньше риск заказчика), сроки поставки);



Булгаков О. Ю.

$L$  – деловая положительная репутация КвП продукции на рынке поставок продукции (стабильность, благонадёжность, целевое развитие, отзывы заказчиков по аналогичным контрактам, участие в судебных разбирательствах);

$T$  – управленческая компетентность КвП продукции (эффективность его организационной структуры и руководство ею, взаимодействие функциональных подсистем);

$B$  – опыт работы КвП продукции (опыт предыдущей работы с заказчиком, ежегодный оборот, опыт поставок продукции для РЭА за 3–5 лет).

Таким образом, задачу можно сформулировать следующим образом [10]: для заданных показателей к оценке КвП продукции  $I = \{S, Z, L, R, T, B\}$  реализуется возможность выбора (сформировать перечень) множества КвП продукции  $G$ , каждый из которых позволяет с определённым качеством решать задачи поставок продукции при допустимых издержках  $k(g_i) \leq K$ , и выбрать оптимального КвП  $g^* \in G$ , обеспечивающего оперативное решение наибольшего числа задач поставок продукции  $\max N_{рз.}$ ,

где:

$I$  – совокупность показателей оценки КвП продукции;

$G$  – множество КвП продукции на рынке;

$g^*$  – оптимальный КвП продукции;

$g$  – различные КвП (где  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ );

$\max N_{рз.}$  – максимальный объём решения задач поставок продукции;

$k(g_i)$  – минимум издержек поставок продукции;

$K$  – оптимально допустимые издержки поставок продукции.

В этом случае процесс обоснования выбора КвП продукции целесообразно подразделить на последовательное решение двух задач:

1. Изучение рынка КвП продукции на основе принципов, определённых в нормативных документах СДС «Электронсерв», выбор из множества  $G$  КвП в требуемом направлении деятельности.

2. Выбор из множества  $G$  оптимального КвП продукции  $g^*$ , обеспечивающего оперативное решение задач поставок продукции  $N_{рз.}$

## 2. Разработка методики обоснования выбора квалифицированного поставщика продукции

Исходя из описания модели (1.1) декомпозиции общей задачи обоснования выбора КвП продукции, методика обоснования такого выбора [8] должна содержать два блока моделей:

1. Блок моделей формирования возможных КвП продукции.

2. Блок моделей оценки и выбора оптимального квалифицированного поставщика продукции.

С учётом известных подходов к решению подобных задач можно сделать вывод, что наиболее приемлемым методом их решения является метод имитационного моделирования, при котором последовательно шаги реализации двух блоков выбора КвП, содержащие модели действий, описывающие реальную систему, процессы, происходящие в действительности, позволяют получить информацию об этой системе в целом. Одним словом, это постижение сути явления без использования экспериментов на реальном объекте.

Известно, что в имитационных моделях вычисление переменных состояния осуществляется на основе моделей функционирования элементов исследуемой системы (процесса), для которых, в соответствии с использованием модульного принципа, разрабатываются математические модели – модули.

При обосновании модели выбора КвП должны быть решены следующие задачи:

– определение критериев для каждого из критериев оценки КвП продукции;

– определение обобщённого показателя данных критериев, который позволяет сделать окончательный выбор КвП продукции.

В качестве обобщённого показателя могут выступать цена и качество поставляемой продукции (или другие, выбранные исходя из приоритетов заказчика).

Решение общей задачи осуществляется в рамках методики [7, 8], структурно-функциональная схема которой приведена на рис. 1.

Рис. 1. Блок моделей формирования возможных КвП продукции содержит модели М1, М2 и М3.

Модель М1 обеспечивает обоснование показателей выбора КвП, в соответствии с которыми будет произведена последующая разработка различных вариантов выбора КвП продукции  $g_i$ .

Модель М2 обеспечивает определение критериев к показателям ( $I$ ) выбора КвП продукции.

Модель М3 обеспечивает обоснование выбора КвП продукции  $g_i$  в соответствии с показателями, определяемыми в рамках модели М1.

Блок оценки и выбора оптимального КвП продукции содержит модели М4 и М5.

Модель М4 позволяет оценить сформированные варианты КвП продукции  $g_i$ .

Модель М5 обеспечивает выбор оптимального КвП продукции  $g^*$  из множества существующих, который обеспечит требуемое качество и оперативность решения задач поставок продукции.

Таким образом, применяя предлагаемую структурно-функциональную схему выбора оптимального КвП получаем рекомендации по выбору оптимального КвП продукции  $g^* \in G$ , который обеспечит оперативное решение наибольшего числа задач поставки продукции и будет стремиться к максимальному объёму решения задач поставки продукции. По результатам исследований формируется перечень потенциальных КвП продукции по которым необходимо далее проводить соответствующую работу.

## 3. Выбор показателей и критериев оценки квалифицированного поставщика продукции

А). Подходы к выбору показателей оценки КвП продукции.

Чтобы разработать систему оценки КвП продукции на основе множества различных показателей и критериев к ним, предлагается выбрать из многообразия всего несколько (например, 5–8) ключевых критериев.

На основании вышеизложенного при определении наиболее предпочтительных критериев для оценки КвП продукции целесообразно принять критерии  $I = \{S, Z, L, R, T, B\}$ , описанные выше, при обосновании их выбора и модели выбора КвП [9].

<b>ЗАДАЧА</b>
Разработать методический аппарат обоснования выбора оптимального КвП продукции $g^*$
<b>Исходные данные:</b> $I = \{S, L, R, Z, T, B\}$
<b>БЛОК</b>
<b>формирования возможных квалифицированных поставщиков продукции</b>
M1: Модель обоснования показателей выбора КвП
M2: Модель выбора критериев к показателям выбора КвП продукции
M3: Модель обоснования выбора КвП продукции, $g_i$
<b>БЛОК</b>
<b>оценки и выбора оптимального квалифицированного поставщика продукции</b>
M4: Модель оценки сформированных вариантов выбора КвП продукции, $g_i$
M5: Модель выбора оптимального КвП продукции, $g^*$
<b>РЕЗУЛЬТАТ</b>
<b>рекомендации по выбору оптимального квалифицированного поставщика продукции, <math>g^*</math></b>

Рис. 1. Структурно-функциональная схема выбора КвП продукции

*Б). Определение критериев показателей выбора КвП.*

Показатель выбора КвП продукции оцениваются набором критериев, определяющих значимость (например: имеет – не имеет; устойчив – неустойчив; имеет опыт – не имеет опыт и т. д.) при оценке КвП продукции.

Под критерием эффективности выбранных показателей понимаются выбранные количественные оценки, выражающие степень соответствия (стремящейся к максимальному значению) требованиям заказчика к КвП продукции.

Исходя из этого при выборе показателей и критериев необходимо исходить из того, что их набор должен отвечать следующим требованиям:

1. Показатели должны оценивать эффективность решения основной задачи: поставки продукции, а не второстепенных (например, промежуточные действия и др.).
2. Количество критериев должно быть минимально

необходимым, но достаточно полным (например, 5–6 и более показателей) для отражения оцениваемого результата.

3. Каждый показатель должен иметь количественную, измеряемую меру (но являющуюся величиной безразмерной) и имеющую понятную формулировку.

4. Набор показателей и критериев к ним должен обеспечивать возможность упрощения решаемой задачи выбора КвП продукции.

Исходя из вышеизложенного, в нашем случае, показатели оценки КвП продукции должны в основном содержать следующие критерии (табл. 1).

*В). Оценка удовлетворённости КвП продукции.*

Оценка КвП продукции осуществляется на основе объективного мнения заказчика относительно эффективности и возможностей КвП, взаимоотношений заказчика с ним.

В качестве оценочных характеристик могут выбираться следующие критерии:

Таблица 1

Показатели и критерии оценки КвП

Показатели	Критерии
S – чистота юридического оформления КвП, наличие свидетельства о квалификации поставщика продукции, сертификатов соответствия стандартам серии ISO 9001 и иных сертификатов	- нормативные и уставные документы юридического лица; - лицензии на соответствующие виды деятельности согласно стандартам серии ISO 9001; - сертификаты соответствия стандартам на поставляемую продукцию
Z – обеспеченность ресурсами	- обеспеченность материально-техническими средствами КвП продукции; - укомплектованность персоналом КвП продукции; - финансовая устойчивость КвП
R – реализуемость КвП предлагаемой продукции	- качество продукции; - цена продукции; - предлагаемые финансовые условия (меньше аванс – меньше риск заказчика); - сроки поставок; - число контрактов с клиентами; - количество заявок на продажи

Показатели	Критерии
<i>L</i> – деловая репутация КвП продукции на рынке поставок продукции	- отзывы заказчиков по аналогичным контрактам; - участие в судебных разбирательствах; - отсутствие задолженности в налоговых органах
<i>T</i> – управленческая компетентность КвП продукции	- эффективность организационной структуры квалифицированного поставщика; - соответствие образования персонала квалифицированного поставщика занимаемым должностям; - совершенствование квалификации персонала квалифицированного поставщика продукции
<i>B</i> – общий опыт работы КвП продукции	- опыт предыдущей работы с заказчиком; - ежегодный оборот; - опыт поставок продукции для аналогичных объектов за последние 3–5 лет
другие выбранные заказчиком показатели	...

- цена продукции;
- качество предлагаемой продукции;
- ответственность КвП;
- политика КвП в отношении контрафактной продукции;
- гибкость договорных взаимоотношений;
- возможность предоставления заказчику рассрочки платежа;
- внимание к деталям сделки;
- возможность обеспечения страхового запаса (финансовая, техническая);
- добросовестность персонала КвП;
- сроки поставок продукции и др.

Показатели, по которым заказчик оценивает степень своей удовлетворенности КвП продукции, должны основываться на значениях выбранных показателей и критериев с обязательным учётом объективного мнения заказчика.

#### 4. Проведение экспертизы конкурсных заявок квалифицированных поставщиков

Экспертиза конкурсных заявок КвП на поставку продукции обычно проводится в два этапа (деление процедуры экспертизы заявок на этапы является условным) обученными и подготовленными специалистами:

*А). Отборочный этап* (рассмотрение), на котором индивидуально рассматриваются заявки на участие в конкурсе. Заявки, не соответствующие требованиям проведения запроса предложений хотя бы одному показателю, отклоняются.

*Б). Оценочный этап*, на котором оцениваются и сопоставляются только заявки, допущенные экспертной комиссией по результатам рассмотрения.

*А). Отборочный этап конкурсных заявок поставщиков.*

На отборочном этапе экспертизы заявок КвП осуществляется:

- оценка правоспособности участвовать в данном конкурсе, уставных и регистрационных документов, лицензий;
- оценка общего опыта работы, сроки создания предприятия и объёмы выполненных контрактов за последние 3–5 лет;
- оценка финансовых возможностей;
- оценка кадровых возможностей (информация

о персонале поставщика);

- оценка репутации (отзывы предыдущих заказчиков, информация о судебных исках против поставщика, среди которых особо выделяются судебные решения, вынесенные против);

– оценка соответствия предлагаемой к поставке продукции требованиям заказчика (рассматривается суть технических предложений на поставку продукции и отклоняются заведомо неприемлемые).

Конкурсные заявки могут отклоняться или исключаться только решением экспертной комиссии.

*Б). Оценочный этап конкурсных заявок квалифицированных поставщиков.*

На оценочном этапе экспертизы заявок КвП продукции осуществляется проверка членами экспертной группы заказчика технических, экономических, юридических и (или) иных указанных условий по поставке продукции в соответствии с выбранными показателями и критериями к ним.

Каждый эксперт в заключении о поставке продукции должен указать результаты проверки по порученным ему показателям оценки.

#### 5. Порядок определения оптимального квалифицированного поставщика продукции

К определению общего порядка выбора КвП продукции, итоговой оценки по показателям и критериям на настоящий момент, можно отнести четыре основных метода выбора КвП продукции [10]:

- метод доминирующих характеристик;
- метод оценки затрат;
- метод категорий предпочтений;
- метод рейтинговой оценки.

Наиболее приемлемым в нашем случае может быть метод рейтинговой оценки, позволяющий, в отличие от первых трёх, комплексно производить оценку КвП и расставлять приоритеты среди большого количества показателей. Из многообразия возможных показателей нами определены основные критерии *S, Z, L, R, T, B* выбора КвП продукции. Далее экспертным путём проводится их ранжирование и на основании этого рассчитываются весовые коэффициенты, определяется значимость каждого показателя.

Вычисление значения рейтинга по каждому показателю определяется произведением удельного веса показателя на его экспертную бальную оценку (например, по 5- или 10-бальной шкале) для данного КвП [9, 10].

Полученное суммарное значение рейтинга по всем критериям даёт нам итоговый  $R$  рейтинг для конкретного  $i$ -го КвП по формуле:

$$R_i = R_{ij} \cdot a_j, \quad (5.1)$$

где:

$i$  – индекс КвП;

$j = 1, 2, \dots, J$  – индекс показателя;

$J$  – число показателей;

$R_{ij}$  – оценка  $j$ -го показателя по  $i$ -му поставщику, баллов;

$a_j$  – вес  $j$ -го показателя.

Сумма весовых коэффициентов должна быть равна единице. Для наглядности и удобства применения показателя целесообразно сводить в таблицу (см. табл. 2).

Проведя сравнительную оценку, получаем значение рейтинга для различных КвП и, как следствие, выбираем наилучшего. При равных результатах целесообразно предложить и ввести дополнительные показатели и критерии, затем повторить расчёт.

Таким образом, исходя из предложенной модели и методики обоснования выбора КвП продукции, описанных показателей и критериев выбора КвП продукции, примененная рейтинговая оценка выбора КвП продукции может являться на настоящий момент наиболее доступным и актуальным методом использования экономического и управленческого опыта, квалификации, творческого потенциала при подходах к выбору КвП продукции.

В развитии предлагаемой методики выбора КвП продукции было бы целесообразно изучить и рассмотреть проблему ранжирования КвП продукции, обосновать и предложить показатели, критерии механизма ранжирования с учётом опыта работы на рынке, качества предоставляемых заказчику услуг поставки ЭКБ и комплектующих материалов.

Таблица 2

Рейтинговая оценка квалифицированных поставщиков продукции (пример для выбранных трёх КвП)

Показатели выбора КвП	Вес показателя $a_j$	Оценка критерия по выбранному КвП $R_{ij}$			Произведение веса на оценку по выбранному КвП $R_i$		
		1	2	3	1	2	3
S – чистота юридического оформления	0,3	7	5	8	2,1	1,5	2,4
Z – обеспеченность ресурсами	0,25	6	2	3	1,5	0,5	0,75
R – реализуемость предлагаемой продукции	0,15	8	6	8	1,2	0,9	1,2
L – деловая репутация	0,15	4	7	2	0,6	1,05	0,3
T – управленческая компетентность	0,05	7	7	2	0,35	0,35	0,1
B – общий опыт работы	0,10	4	3	7	0,4	0,3	0,7
...	...	...	...	...	...	...	...
<b>ИТОГО</b>	<b>1</b>				<b>7,15</b>	<b>4,6</b>	<b>5,45</b>
<b>Рейтинг выбранного КвП</b>					<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>

### Литература

1. Феоктистова Е. М., Красюк И. Н. Маркетинг: теория и практика. – М.: Высшая школа, 1993.
2. Липсиц И. В. Бизнес-план основа успеха. – М: Машиностроение, 1993. – 80 с.
3. Моисеева Н. К., Анискин Ю. П. Современное предприятие: конкурентоспособность, маркетинг, обновление. – М: Внешторгиздат, 1993. –304 с.
4. Булгаков О. Ю., Подъяпольский С. Б. II Научно-техническая конференция в области комплекса работ по обеспечения качества и надёжности ЭКБ. Подготовка профильных специалистов. итоги, направления и пути развития / «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения», № 1, 2021 г. – С. 10–13.
5. Тейлор Д. Основы научного менеджмента. – М: Высшая школа, 1991.

6. Мескон М. Х., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента: Пер. с англ. – М.: Дело, 1999. – 800 с.

7. Алтухов П. К., д. т. н, профессор. Часть 1. Основы теории управления. – М: Воениздат, 1984. – 221 с. Часть 2. Основы теории управления, 1986. 350 с.

8. Ларин А. А., д. т. н, профессор. Модели и методы их оценки, ч. 1. Процессы и системы. – М.: ВАД, 1995. – 248 с.

9. Герасимов К. Б., Ермолина Л. В. Экономические аспекты выбора и оценки поставщиков / К. Б. Герасимов, Л. В. Ермолина // Вестник СамГУ. – 2014. – № 8 (119). – С. 9–17.

10. Дегтярева, Н. М., Яковлев Р. Методические подходы к выбору и оценке поставщиков предприятия / Н. М. Дегтярева, Р. Яковлев // Вестник ВУиТ. – 2015. – № 1 (33). – С. 100–105.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ —  
НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОДЗАРЯДКИ БПЛАTHE USE OF OVERHEAD POWER TRANSMISSION POLES IS THE MOST EFFECTIVE WAY  
TO RECHARGE THE UAV

**Зверев А. П.**, к. т. н., доцент, **Алексеева Т. И.**, ФГУП «МНИИРИП»; +7 (495) 586-17-21 доб.1377, moizver62@mail.ru; **Зверев В. А.**, Академия ФСО России; zvervlad2@mail.ru

**Zverev A. P.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, **Alekseeva T. I.**, FSUE «MNIIRIP»; +7 (495) 586-17-21 доб.1377, moizver62@mail.ru; **Zverev V. A.**, FSO Academy of Russia; zvervlad2@mail.ru

*В данной статье рассмотрен вопрос об использовании вышек опор линий электропередач для подзарядки беспилотных летательных аппаратов. В процессе полёта беспилотным летательным аппаратам требуется производить подзарядку аккумуляторов через незначительное время. Отсутствие баз подзарядки может значительно сократить проводимые ими операции по разведке местности. Использование опор линий электропередач, с установленными на них ионисторами, позволит решить данную задачу и значительно сократить время зарядки аккумуляторных батарей.*

*This article discusses the use of power line towers for recharging unmanned aerial vehicles. During the flight, drones need to recharge their batteries after a short time. The lack of reloading bases can significantly reduce their reconnaissance operations. The use of power line supports with supercapacitors installed on them will solve this problem and significantly reduce the charging time of batteries.*

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, опоры воздушных линий электропередач, ионисторы, суперконденсаторы.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, supports of overhead power lines, ionistors, supercapacitors.

### Введение

В последние 10–15 лет российская армия уделяет особое внимание беспилотным летательным аппаратам (далее – БПЛА), которые также называют дронами, беспилотниками, беспилотными воздушными суднами. Сначала стоит разобраться, что это такое. Дрон – это закрепившееся название БПЛА. Кроме этого существуют и альтернативные варианты наименований: коптер, беспилотное воздушное судно [1, 2].

Современные дроны различаются по способу полёта, его дальности, весу полезной нагрузки и другим характеристикам. Практическое сочетание различных свойств в одном аппарате делает его незаменимым в любой деятельности. Остановимся на рассмотрении предназначения дронов. Итак, дрон – БПЛА, который способен автономно перемещаться в воздухе и не требует непосредственного пилотирования. Аппараты управляются с помощью пульта или бортового компьютера. Первые прототипы БПЛА появились ещё в конце XIX века и разрабатывались в военных целях. Полностью автономные дроны начали производить во второй половине XX века, регулярно совершенствуя механизмы их работы [2, 3, 4].

Стоит отметить, что в работе любого БПЛА имеются практически одинаковые принципы:

– перемещение по воздуху практически самостоятельно;

– умение выдерживать скорость полёта и заданную высоту;

– возможность нести определённую нагрузку;

– установка на аппарат дополнительной полезной нагрузки для передачи данных оператору в реальном времени.

БПЛА можно классифицировать по основным характеристикам:

– дальность полёта;

– базовый механизм;

– самолётный тип;

– вертолётный тип;

– количество винтов.

Необходимо заметить, что БПЛА бывают с количеством винтов от 3 до 8 [5, 6]. Дроны коптерного типа отличаются плавностью и стабильностью полёта. Аппараты подходят для мониторинга территории и её детального анализа. На сегодняшний день в классификации различают БПЛА военного и гражданского назначения [4, 5].

#### Некоторые области применения БПЛА

1). Спектрональная съёмка. Вид съёмки, в процессе которой производится одновременное получение фотографических изображений объекта в различных участках спектра электромагнитных волн. Так, в сельском хозяйстве данный вид съёмки позволяет получить общую модель местности с разрешением практически до 3 см. Это позволяет детально контролировать посевы и всходы с точностью до 5 см.



*Зверев А. П.*



*Алексеева Т. И.*

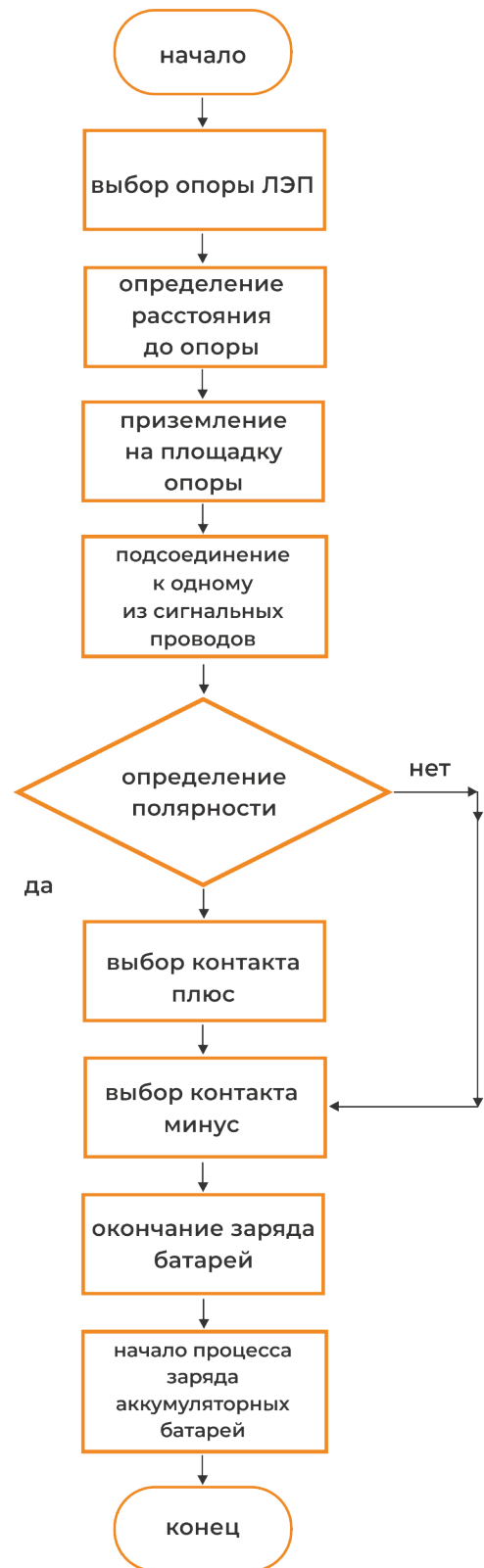
2). Аэрофотосъёмка. Это комплекс работ, включающий такие процессы, как простое фотографирование земной поверхности до получения аэрофотоснимков, включающих в себя фотосхемы, фотопланы снятой местности. Данные материалы могут быть использованы в лесном хозяйстве, а также в лесной промышленности в целом. В зависимости от направления камеры на летательном аппарате мы можем получить как плоскую, так и объёмную картину снимаемой местности.

3). Учёт животных с воздуха с помощью БПЛА. Съёмка с БПЛА позволяет произвести учёт и определять не только численность животных в хозяйствах, а также выявлять места их концентрации. Это очень важно, особенно для выявления популяции диких животных.

4). Дистанционный мониторинг и контроль состояния нефтепроводов и газопроводов. Данный контроль позволяет получать информацию в масштабах реального времени нефтяные разливы, врезки в трубопроводы, свалки нефтепродуктов и др. Кроме вышеперечисленной информации данный мониторинг позволяет проводить анализ и техническое состояние не только самих трубопроводов, но и околотрубного пространства.

5). Аэросъёмка местности. Данный вид мониторинга позволяют непрерывно контролировать загрязнение природной среды, а также техническое состояния тысячекilометровых водных объектов, контролировать геодинамическое состояние и деформации земной поверхности. Так, в частности, составление зон подтопления, промерзающих и оттаивающих грунтов. В геодезии данный вид съёмки позволит выявить зоны коррозии, нарушение гидроизоляции, исследовать современные экзогенные процессы (сели, обвалы, подтопления и др.) Данный вид съёмки позволит значительно обновить топографические карты, а также совершенствовать географические информационные системы.

6). Мониторинг и опознание движущихся объектов. Данный вид мониторинга начинает широко использоваться в ГИБДД, для контроля движения транспортных средств в потоке и на трассах с целью выявления нарушителей движения. Также данный вид мониторинга может быть использован в качестве беспилотной охраны и для контроля государственной границы. Одним из способов использования БПЛА будет выполнение им функции охраны особо важных объектов. Этот вид охраны применялся уже на Чемпионате мира по футболу FIFA–2018.





В качестве мониторинга стоит также предложить и полицейский спецназ, особенно при проведении массовых мероприятий: футбольные матчи, сборы и проведение различных мероприятий с большим скоплением людей. Стоит отметить предназначение использования БПЛА для поиска и спасения людей, пропавших в лесах, а также для доставки раненых людей. Современные квадрокоптеры способны поднять на борт человека массой до 150 кг.

7). В качестве особенностей использования дронов стоит отметить его предназначение в качестве IT-индустрии. Известные компании Интернет объявили о планах по созданию сети беспилотников, которые будут способны обеспечивать интернет-покрытие, в тех местах, где ранее он практически отсутствует [5, 6].

#### **Реализация перспективного способа зарядки БПЛА**

Однако стоит разобраться, сколько будет летать данное устройство без подзарядки. Как правило, разработчики считают, что БПЛА должен летать в пределах нескольких часов при нормальных условиях эксплуатации. Далее следует подзарядить аккумуляторные батареи.

Процесс подзарядки БПЛА осуществляется несколько сложнее, чем у обычных аккумуляторов. Зарядные устройства для квадрокоптеров подразделяются на те, которые обеспечивают быстрое пополнение энергии, а также те, которые обеспечивают большую мощность зарядки. Однако не всегда имеется возможность обеспечить зарядку БПЛА, особенно во время работы в «полевых условиях» (во время ведения фотосъёмки или поиска порыва трубопроводов и др.).

В этой связи стоит рассмотреть вопрос подзарядки БПЛА с использованием опор линий электропередач. С этой целью на опорах электропередач делают откидную площадку размером в пределах 1,5 м. Откидную площадку выполняют из уголков размерами 50 x 50 мм. Чтобы не допустить образования наледи и снега в зимний период, внутри уголка устанавливают сетку размерами 20 x 20 мм, а также подводят питание напряжением 220 В. Установленная сетка будет позволять прохождение не только дождя, но и снега. Образующиеся в результате ледяного дождя наледи будут убираться за счёт нагрева сетки при подаче напряжения 220 В.

На данной площадке устанавливают преобразующее устройство, которое состоит из суперконденсаторов или ионисторов. Так как зарядка производится напряжением порядка 2,4 до 4,5 В, то на платформе целесообразно взять одну из фаз из трехфазного напряжения и произвести

его преобразование с помощью трансформатора. Трансформатор должен быть понижающий из 220 В на 6 – 6,5 В и мощностью порядка 100 Вт.

Далее рассмотрим процесс заряда БПЛА, создав алгоритм его работы. Вначале, когда беспилотник полностью заряжен и осуществляет свой полёт по запланированной территории, через определённое время полёта происходит постепенный разряд батареи. Оператор, управляющий данным БПЛА, выбирает из нескольких опор ЛЭП близлежащую. Далее на основании данных, которые может получить оператор, определяется одна из наиболее близких опор, и оператор направляет туда свой БПЛА. После приземления на площадку у БПЛА выдвигается первая клемма с магнитом, которым она притягивается к одному из сигнальных проводов. Данной клемме автоматически присваивается плюсовая полярность (+).

Затем другой клемме автоматически определяется минусовая шина (-). После того как шины присоединились к аккумулятору у БПЛА начинается процесс заряда.

#### **Заключение**

Рассмотрев основные способы применения БПЛА, а также их практическое применение в различных сферах народного хозяйства, отметим, что сегодня одной из главных задач БПЛА является подзарядка аккумуляторных батарей. Предложенный в данной статье метод подзарядки аккумуляторных батарей позволит сократить время подзарядки БПЛА и предоставит дополнительно большее число мест для зарядки аккумуляторов БПЛА.

#### **Литература**

1. Sonja, Poulton Летательные аппараты / Sonja Poulton. – М.: Балтийская книжная компания, 2014. – 419 с.
2. Сикульский В. и др. Технология производства самолётов и вертолетов. Основы технологии производства летательных аппаратов. – М.: Харьковский авиационный институт, 2014. – 208 с.
3. Гладкий В. Ф. Вероятностные методы проектирования конструкции летательного аппарата. Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 2017. – 272 с.
4. Зоншайн С. И. Аэродинамика и конструкция летательных аппаратов. – М.: Высшая школа, 2010. – 364 с.
5. Макаров Ю. В. Летательные аппараты МАИ / Ю. В. Макаров. – М.: МАИ, 2015. – 256 с.
6. Петров К. П. Аэродинамика элементов летательных аппаратов. / К. П. Петров. – М.: Медиа, 2013. – 255 с.

#### **УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ !**

МЫ ЖДЁМ ВАШИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СТАТЬИ И РЕКЛАМНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

для публикации в нашем журнале в 2022 году

контактные телефоны: 7-985-725-73-68, +7(495)583-06-32

ПРАВИЛА И ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ, ПУБЛИКУЕМЫМ В ЖУРНАЛЕ

«РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ»,

СМОТРИТЕ НА [HTTP://ELSERT.RU](http://elsert.ru), В РАЗДЕЛЕ СМИ, ЖУРНАЛ.



АНО «ЦЕНТР СЕРТИФИКАЦИИ, ОБУЧЕНИЯ И КОНСАЛТИНГА

## «ЭЛЕКТРОНСЕРТИФИКА»

является единственной организацией в СДС «Электронсерт»,  
осуществляющей обучение специалистов предприятий  
в целях получения дополнительного профессионального образования  
по программам повышения квалификации  
(лицензия 78463 от 26 августа 2020 года, выдана Министерством образования Московской области)

1	Система менеджмента качества предприятий и организаций
2	Технология проведения испытаний ЭКБ в испытательных лабораториях (центрах)
3	Внутренние аудиты предприятий и организаций
4	Выполнение задач и функций при осуществлении процессов закупки ЭКБ, её идентификации, хранения и поставки
5	Метрологическое обеспечение разработки и испытаний ЭКБ и РЭА
6	Подготовка экспертов по сертификации СМК предприятий, аккредитации ИЛ(Ц), квалификации поставщиков ЭКБ
7	Обеспечение надёжности, технического контроля, управление качеством и анализа причин отказов ЭКБ

**тел.: +7 (495) 583-06-32**

**e-mail: [elsert@bk.ru](mailto:elsert@bk.ru)**

**сайт: <http://elsert.ru>**



**МНИИРИП**

## ФГУП «МНИИРИП»

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

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

Головная научно-исследовательская организация Минпромторга России в области ЭКБ

### ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ ЭКБ И РЭА

**Испытательный центр ФГУП «МНИИРИП»  
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.**

**Лаборатории центра оснащены современным  
испытательным и измерительным оборудованием  
2012–2013 гг. выпуска производства Японии, США,  
Швейцарии, России. За испытательным центром  
закреплено ВП МО РФ.**



# На страже качества

## Анализ отказов ЭКБ

ООО «ИРЗ ТЕСТ» проводит комплексный анализ качества электронной компонентной базы с целью:

- Определения соответствия ЭКБ требованиям спецификации производителя
- Установления причины отказа ЭКБ, отказавшей на любом этапе жизненного цикла продукции (приемка, испытания, эксплуатация)
- Выявления ЭКБ с признаками сомнительной/неоригинальной продукции

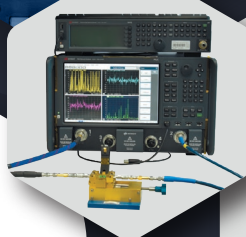
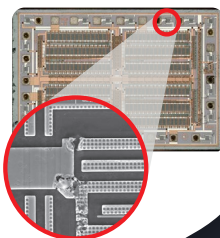
## Методы анализа

### Неразрушающие:

- Внешний визуальный контроль
- Диагностика ЭКБ по информативным параметрам
- Измерение при воздействии дестабилизирующих факторов (климатические, механические)
- Электротепловой контроль
- Рентгеновский контроль
- Акустическая микроскопия
- Контроль герметичности
- Определение наличия посторонних частиц в подкорпусном объеме и др.

### Разрушающие:

- Внутренний визуальный контроль
- Контроль прочности внутренних соединений
- Проверка прочности крепления кристалла на сдвиг
- Измерение отдельных элементов кристаллов с помощью зондовой станции
- Растровая электронная микроскопия
- Рентгеноспектральный анализ
- Послойное препарирование технологических слоев полупроводниковых структур
- Плазмохимическое травление и др.



## Поставка и испытания ЭКБ ОП и ИП

ООО «ИРЗ ТЕСТ» обладает всеми необходимыми компетенциями для поставки высоконадежной ЭКБ ОП и ИП «под ключ» для комплектации радиоэлектронной аппаратуры ракетно-космической и специальной техники:

- Поставка ЭКБ ОП и ИП со склада и под заказ от заводов-изготовителей и официальных дистрибьюторов с гарантированным качеством
- Обеспечение полного цикла испытаний ЭКБ (включая испытания на радиационную стойкость и информационную безопасность)
- Разработка и согласование программ и методик испытаний, анализ и оптимизация номенклатуры ЭКБ
- Разработка КД и ПО, изготовление оснастки для проведения испытаний
- Сертификация в системе ФСС КТ
- Проведение испытаний радиоэлектронной аппаратуры, блоков и модулей специального и гражданского назначения на воздействие механических и климатических факторов, информационную безопасность



ООО «ИРЗ ТЕСТ»  
+7 (3412) 43-11-13, 72-71-00  
infotest@irz.ru  
test.irz.ru



**2022**

**Уважаемые коллеги, дорогие друзья!**

**Поздравляем вас с Новым годом!**

**Желаем новых стремлений и открытий,  
удачных стартов и больших побед,  
успешных результатов в делах  
и перспектив в личных интересах.**

**Пусть этот год станет для всех нас  
добрым и счастливым!**

**С уважением,  
учредители журнала, редакционный совет и редакционная коллегия**

