

# 1 (5) | РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: 2022 | 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  
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
КОМПЕТЕНТНЫЕ МНЕНИЯ И АНАЛИТИКА  
ИНФОРМАЦИЯ



# ООО «ВИАНТЕК»

Разработка ПО, систем управления и автоматизации.  
Эксперты в области цифровых стандартов радиосвязи и автоматизации измерений.

Компания «ВИАНТЕК» более семи лет специализируется на создании программно-аппаратных комплексов, систем для управления средствами измерений и оборудованием, обеспечением безопасности информации.

## Основные направления деятельности:



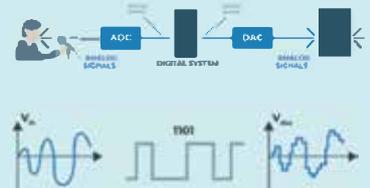
Дистанционное управление средствами измерений, оборудованием и приборами (Rohde & Schwarz, Agilent, Keysight, National Instruments, Anritsu)

Автоматизация электрорадиоизмерений, комплексное управление средствами измерений, оборудованием и приборами по интерфейсам

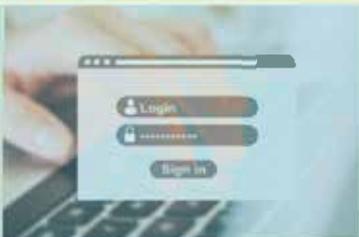


Создание программно-аппаратных комплексов от мобильных систем до стационарных распределительных комплексов мониторинга

Цифровая обработка сигналов, декодирование и программный анализ GSM, Wi-Fi, TETRA, DECT, APCO, DMR, Bluetooth



Защита предприятий и учреждений от утечки информации и данных по беспроводным и цифровым каналам связи



г. Москва, ул. Тимирязевская, 1С2, офис 2502  
Тел.: +7 (495) 120-24-36  
E-mail: [soft@viantec.ru](mailto:soft@viantec.ru)

РО Пир 1(5)/2022 (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 февраля 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  
М. Л. Савин, и. о. директора ФГУП «МНИИРИП»  
С. И. Боков, доктор экономических наук  
А. В. Брыкин, доктор экономических наук  
Н. В. Завьялов, доктор технических наук  
В. М. Исаев, доктор технических наук  
Г. Я. Красников, академик РАН  
А. С. Сигов, академик РАН  
В. Б. Стешенко, кандидат технических наук  
А. А. Рахманов, доктор технических наук  
В. А. Телец, доктор 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»  
А. П. Зверев, кандидат технических наук  
М. А. Захарова, член Союза журналистов РФ  
И. Н. Кабанов, доктор 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  
В. Н. Храменков, доктор технических наук  
С. В. Щербаков, кандидат технических наук

### Редакция:

Е. С. Зубарева, графический дизайнер  
Н. В. Зубарева, редактор-корректор  
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 01.02.2022  
Подписано к печати 08.02.2022  
Тираж 300 экз.

Редакция не несёт ответственности за содержание авторских материалов и достоверности сведений в рекламе. Фотография на обложке – открытый источник интернета

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 содействии Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга РФ и Российского технологического университета – МИРЭА

## СОДЕРЖАНИЕ

### РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ

*Донсков Р. Е., Тимофеев И. Г., Пустовойт М. В., Мардаровский А. Ф.* Применение кабельной продукции нового поколения для ВМФ РФ.....2  
*Буртовой А. Ю.* Исследование и результат сбора, анализа и обобщения информации об обозначениях выводов изделий электронной техники, применяемых при построении условных графических обозначений.....6  
*Булгаков О. Ю., Подъяпольский С. Б.* Методический подход к обоснованию создания Интегрированного центра организации и проведения испытаний ЭКБ и РЭА.....10  
*Сашов А. А., Каськов Т. Н., Кулибаба А. Я., Суконкин М. К., Штукарев А. Ю.* Типовые ошибки в программах и методиках испытаний на надёжность электронной компонентной базы для бортовых аппаратов ракетно-космической техники.....14

### КАЧЕСТВО И НАДЁЖНОСТЬ

*Яненко А. В.* Риски применения схемотехнических мер парирования одиночных тиристорных эффектов в космической аппаратуре.....18  
*Протопопов Г. А., Крылов Д. Г., Чубунов П. А., Козюков А. Е.* Требования к изделиям ЭКБ космического применения по стойкости к воздействию ионизирующих излучений космического пространства по дозовым ионизационным эффектам.....22  
*Степанов А. В., Степанов В. А.* ГОСТ РВ 0015-002-2020: Требования к ресурсам для мониторинга и измерения. Проблемы разработки.....27

### ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

*Булгаков В. О.* Методический подход к обеспечению безопасности корпоративных Wi-Fi сетей и перспектива развития.....31

### КОМПЕТЕНТНЫЕ МНЕНИЯ И АНАЛИТИКА

*Колядин А. И.* Вопросы выбора модели представления знаний в радиоэлектронной отрасли.....36

### ИНФОРМАЦИЯ

Перечень научных статей, опубликованных в 2021 году.....40

ПРИМЕНЕНИЕ КАБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ВМФ РФ

APPLICATION OF NEW GENERATION CABLE PRODUCTS ON SHIPS AND SUBMARINES OF RUSSIAN NAVY

**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 внедрения мероприятий по обеспечению широкого применения вновь разработанной кабельной продукции нового поколения как на заказах ВМФ РФ, так и в судостроительной промышленности в целом. В частности, речь пойдёт о создании комплекта технологической документации, описывающей и содержащей технологические процессы и операции по судовому электромонтажу с кабельной продукцией нового поколения.*

*The article describes the process of creating and implementing of measures to ensure the wide use of newly developed cable products of new generation both in orders of the Russian Navy and in the shipbuilding industry in general. In particular, we will talk about creating of the set of technological documentation describing and containing technological processes and operations in ship wiring with cable products of new generation.*

**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.

**Key words:** 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.



Донсков Р. Е.



Тимофеев И. Г.



Пустовойт М. В.



Мардаровский А. Ф.

### Введение

Строительство новых судов и кораблей осуществляется с учётом инновационных достижений в области судового проектирования, предусматривающих использование современных средств технической оснащённости, автоматизированных систем управления технологическими процессами, обеспечивающими высокую надёжность и безопасность при эксплуатации судов и кораблей как в штатных, так и в аварийных ситуациях. Существенную роль в обеспечении безопасности эксплуатации судов и кораблей выполняют судовые кабели различного функционального назначения.

Учитывая агрессивность сред судовых помещений и экстремальность режимов эксплуатации судовых электрических установок и морской техники, судовую кабель должен обладать повышенной стойкостью к воздействию внешних факторов, влияющих на целостность конструктивных элементов кабелей и их технические характеристики, а также сохранять работоспособность при возникновении аварийных ситуаций.

Разработанная более 30 лет назад кабельная продукция потеряла свою актуальность в условиях современных тенденций, учитывающих мировой уровень научно-

технического развития, и перестала удовлетворять требованиям, сформировавшимся в судостроительной отрасли на сегодняшний день.

Данное обстоятельство требовало детальной проработки и организации масштабных работ по разработке и внедрению на боевых судах и кораблях ВМФ РФ серии судовых кабелей нового поколения.

#### Основная часть

В период с 2003 по 2019 гг. под руководством АО «СПО «Арктика» и участии ключевых предприятий отрасли была проделана масштабная работа по разработке, организации производства и серийному выпуску кабельной продукции нового поколения, отвечающей современным требованиям в области эксплуатации военной и морской техники.

Широкое применение вновь разработанных кабелей было невозможно без разработки комплекта технологической документации:

- содержащей описание технологических операций по монтажу с учётом конструктивных особенностей и требований эксплуатации кабельной продукции нового поколения;
- обеспечивающей подготовку и выполнение электромонтажных работ в директивные сроки;
- отражающей структуру организации судовых электромонтажных работ, определённую и внедрённую в электромонтажное производство ЦНИИ «СЭТ» – ведущим институтом в области судовой электротехники и технологии электромонтажных работ.

Структура организации судовых электромонтажных работ включает в себя направления, приведённые на рис. 1.



Рис. 1. Структура организации судовых электромонтажных работ

Учитывая профиль предприятия, ответственный подход, профессионализм и высокую эффективность в решении производственных вопросов в области электромонтажных работ, было принято решение поручить данную задачу АО «СПО «Арктика».

В результате, в период с 2013 по 2015 гг. был разработан комплект документации, описывающей технологические операции и устанавливающей порядок выполнения электромонтажных работ,

применительно к данной категории кабелей и условиям электромонтажного производства (рис. 2).

При разработке технологических процессов по монтажу кабелей нового поколения был проведён большой объём опытных работ и исследований, в ходе которых специалистами АО «СПО «Арктика» выявлен ряд проблемных вопросов и выработан комплекс инновационных технологических решений по их устранению. Ключевые проблемные вопросы и их решения приведены в табл. 1.

Таблица 1

#### Ключевые проблемные вопросы и их решения

Проблемный вопрос	Инновационное решение
Применение в конструкции кабеля огнестойкого барьера увеличивает диаметр жил кабелей по изоляции, что влияет на технологию опрессовки жил малых сечений кабельными наконечниками с помощью пресс-клещей типа «Донец». В месте обжима лепестками наконечника изоляции жилы происходит надрыв изоляции, что недопустимо	При проведении опытных работ определён способ защиты места надрыва изоляции посредством трубки ПВХ

Проблемный вопрос	Инновационное решение
Наличие у ряда кабелей уплотнённой токоведущей жилы, в результате чего возникли вопросы по подбору наконечников и применению соответствующего инструмента	В результате проведения масштабных опытных работ и исследований было найдено решение в части применения необходимых кабельных наконечников и инструмента
Специфика конструкции кабелей нового поколения в сочетании с различного рода нестандартными электрическими соединителями, применяемыми в судостроении	Выработка технологических операций по определению размеров и способов разделки конструктивных элементов кабеля, определение способов монтажа с соблюдением требований качества электромонтажных работ
Восстановление огнестойкого барьера при соединении огнестойких кабелей между собой и обеспечение работоспособности электрических связей в аварийных ситуациях	Использование слюдяной ленты марки «Элмикатекс» в качестве огнестойкого барьера при соединении или ремонте кабеля

**Предмонтажная подготовка**

Технологическая инструкция № 25285.ШЕАИ.15143 «Предмонтажная подготовка кабельных изделий, изготавливаемых по ТУ0293-005-07537654-2008, ТУ3500-006-07537654-2008»

**Внешний монтаж**

Технологическая инструкция № 25285.ШЕАИ.15141 «Дефектация кабельных изделий, изготавливаемых по ТУ0293-005-07537654-2008, ТУ3500-006-07537654-2008»

Технологическая инструкция № 25285.ШЕАИ.15185 «Соединение кабельных изделий, изготавливаемых по ТУ0293-005-07537654-2008, ТУ3500-006-07537654-2008»

Технологическая инструкция № 25285.ШЕАИ.15140 «Уплотнение индивидуальных и групповых проходов кабельных изделий, изготавливаемых по ТУ0293-005-07537654-2008, ТУ3500-006-07537654-2008»

**Внутренний монтаж**

Технологическая инструкция № 25285.ШЕАИ.15184 «Заземление кабельных изделий, изготавливаемых по ТУ0293-005-07537654-2008, ТУ3500-006-07537654-2008»

Технологическая инструкция № 25285.ШЕАИ.15183 «Монтаж соединителей с кабельными изделиями, изготавливаемыми по ТУ0293-005-07537654-2008, ТУ3500-006-07537654-2008»

Рис. 2. Комплект технологической документации

Образцы соединённых между собой огнестойких кабелей с восстановленным огнестойким барьером, расположенным в узле соединения, прошли успешные

испытания на огнестойкость. Процесс испытаний приведён на рис. 3.



1)



2)



3)

Рис. 3. Испытания образцов кабеля на огнестойкость

Помимо этого, номенклатура кабелей судовых герметизированных огнестойких, изготовленных по ТУ0293–005–07537654–2008, после восстановления огнестойкого барьера прошла успешные гидравлические испытания на производственных мощностях АО «СПО «Арктика».

В настоящее время ведущими проектантами и разработчиками электротехнической продукции идёт активное использование номенклатуры кабелей нового поколения при проектировании электротехнической части судов и кораблей как военного, так и гражданского назначения.

#### Заключение

Поставленная перед АО «СПО «Арктика» задача была достигнута и реализована в полном объёме.

Разработанный комплект технологической документации по судовому электромонтажу выступил в роли триггера, увеличив тем самым объёмы производства и применения кабельной продукции нового поколения для современных проектов в области океанотехники и приборостроения.

По имеющейся статистической информации на вновь строящихся проектах надводных и подводных боевых кораблей используется до 70 % судовых герметизированных огнестойких и безгалогенных марок кабелей от общего объёма кабельной продукции.

Статистика изменения объёмов кабельной продукции нового поколения в соотношении с остальной кабельной продукцией при строительстве заказов ВМФ РФ приведена на рис. 4.

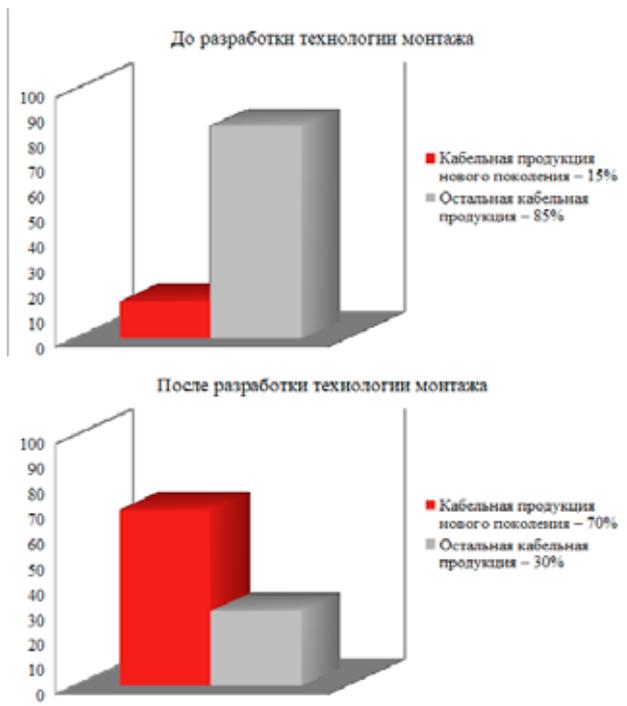


Рис. 4. Изменение объемов применения кабельной продукции нового поколения на заказах ВМФ РФ

По информации, предоставленной предприятиями-производителями, рост выручки от реализации кабельной продукции нового поколения с момента постановки на производство и начала серийного выпуска вырос более чем в 5 раз. Показатели экономического эффекта представлены на рис. 5.

Увеличение выпускаемой номенклатуры кабелей и производственной загрузки привело к необходимости созда-

ния новых дополнительных рабочих мест и расширению численности персонала в целом, что положительным образом сказалось на социально-экономической составляющей предприятия.

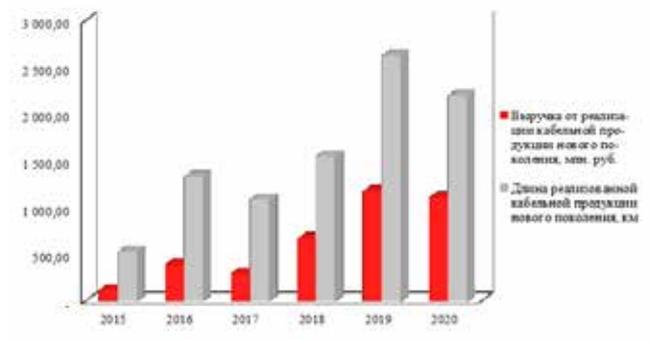


Рис. 5. Показатели экономического эффекта

Применение новых материалов и комплектующих, внедрение изменений в конструктив и номенклатуру кабелей нового поколения требуют актуализации нормативно-технической и технологической документации, предметность и содержание которых затрагивают данные изменения. В данном случае речь идёт о технических условиях по изготовлению кабельной продукции нового поколения и комплекте разработанной технологической документации. Оба вида документации находятся под руководством и управлением АО «СПО «Арктика», что позволяет своевременно и качественно осуществлять их доработку с соблюдением необходимого уровня технологичности.

Также в настоящее время АО «СПО «Арктика» принимает активное участие в реализации перспективного направления по разработке нового способа строительства судов по блочно-модульной технологии, в рамках которого планируется применение кабельной продукции нового поколения, в частности, при:

- создании структурированных кабельных сборок, необходимых для формирования кабельных связей в местах стыковки блочных конструкций;

- разработке ограничительного перечня сочетаний кабельно-проводниковой продукции и электрических соединителей, необходимого для корректного выбора номенклатуры сочетаний «кабель-соединитель» при проектировании электротехнической части судна;

- формировании кабельных трасс, отвечающих требованиям пожарной безопасности и эксплуатации морской техники.

В целом, применение на заказах ВМФ РФ кабелей судовых герметизированных огнестойких и безгалогенных позволило:

- повысить устойчивость составных элементов электрических систем судна к воздействию агрессивных сред;

- повысить живучесть электротехнической части судна в условиях аварийных ситуаций;

- достичь современных требований и условий эксплуатации судов;

- улучшить тактико-технические характеристики судна;

- достичь перечисленных преимуществ с минимальными изменениями в трудоёмкости ЭМР.

Разработанная номенклатура кабельной продукции нового поколения превосходит аналогичную номенклатуру

кабелей предыдущего поколения по всем основным техническим характеристикам и требованиям эксплуатации. Высокие показатели срока службы кабельной продукции нового поколения обеспечивают работу электротехнической части судна на протяжении всего жизненного цикла.

Учитывая актуальность темы создания номенклатуры огнестойких кабелей и применения при их разработке безгалогенных материалов, было проведено большое количество научно-исследовательских работ и исследований, специфика и особенности некоторых из них представлены в научных трудах [1–5].

#### Литература

1. Г. И. Мещанов, С. Д. Холодный. Физико-математическая модель процесса горения электрических кабелей при групповой прокладке // Кабели и провода, 2007. – № 4. – с. 10–14.

2. Г. И. Мещанов, С. Д. Холодный. Анализ особенностей горения полимерной изоляции кабелей при их групповой прокладке // Кабели и провода, 2010. – № 5. – с. 10–14.

3. Д. А. Булычев, М. К. Каменский, А. А. Крючков, Д. В. Савин, Т. А. Степанова, А. А. Фрик, М. Ю. Шувалов. Применение математического моделирования для сравнительного анализа горения (пиролиза) безгалогенных полимерных композиций в условиях кон-калориметрического эксперимента // Кабели и провода, 2015. – № 2. – с. 7–15.

4. М. К. Каменский, Г. И. Мещанов, А. А. Фрик. Кабели и провода пожаробезопасного исполнения. Современное состояние и тенденции развития // Кабели и провода, 2017. – Спецвыпуск. – с. 30–35.

5. В. Т. Долголенко, Ю. Г. Ермолин, С. М. Пискунов. Современные судовые кабели // Кабели и провода, 2021. – № 4. – с. 23–29.

УДК 621.3

### ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕЗУЛЬТАТ СБОРА, АНАЛИЗА И ОБОБЩЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ОБ ОБОЗНАЧЕНИЯХ ВЫВОДОВ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ПОСТРОЕНИИ УСЛОВНЫХ ГРАФИЧЕСКИХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

#### RESEARCH AND RESULT OF COLLECTION, ANALYSIS AND GENERALIZATION OF INFORMATION ON DESIGNATIONS OF ELECTRONIC EQUIPMENT PRODUCTS PINS APPLIED IN CONSTRUCTION OF SYMBOLS

**Буртовой А. Ю.**, АО «ЦКБ «Дейтон»; +7 (499) 735-13-19; burtovoy@deyton.ru

**Burtovoy A. Yu.**, JSC «TSKB «Dayton»; +7 (499) 735-13-19; burtovoy@deyton.ru

*В данной статье рассматривается проблема отсутствия унифицированного документа, обобщающего и структурирующего обозначения выводов изделий электронной техники. Было проведено исследование информации на основании документов по стандартизации обозначений выводов изделий электронной техники, применяемой при построении условных графических обозначений. В процессе проведённых исследований установлено, что практически отсутствует унификация в обозначении выводов изделий электронной техники. Выявленную проблему предлагается решить путём создания Указателя обозначений выводов изделий электронной техники, применяемых при построении условных графических обозначений.*

*Указатель построен по методике сравнительного анализа, с помощью которой были обобщены и унифицированы обозначения выводов условных графических обозначений. В статье описана данная методика, а также представлены результаты сбора и анализа информации об обозначениях выводов изделий электронной техники. Разработанный Указатель позволит однозначно читать схемы (чертежи) по единым правилам, снизить трудоёмкость и себестоимость разработки и производства радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), упростить работы по её модернизации.*

*This article discusses the problem of the lack of a unified document summarizing and the structuring designation of the conclusions of electronic products. A study of information was conducted on the basis of documents on the standardization of the designations of the conclusions of electronic devices used in the construction of conventional graphic designations. In the course of the conducted research, it was found that there is practically no unification in the designation of the conclusions of electronic products. The identified problem is proposed to be solved by creating an Index of the designations of the terminals of electronic devices used in the construction of conditional graphic designations.*

*The index is constructed according to the method of comparative analysis, with the help of which the designations of the conclusions of conditional graphic designations were generalized and unified. The article describes this technique, and also presents the results of collecting and analyzing information about the designations of the terminals of electronic devices. The developed Index will allow unambiguously reading diagrams (drawings) according to uniform rules, reduce the labor intensity and cost of development and production of electronic equipment (REA), simplify the work on its modernization.*

**Ключевые слова:** стандартизация, унификация, условное графическое обозначение (УГО), изделие электронной техники (ИЭТ).

**Keywords:** standardization, unification, conventional graphic designation (UGO), electronic product (IET).

## Введение

Объём изделий электронной техники стремительно растёт, разрабатываются более сложные по строению изделия, появляются новые обозначения выводов, вследствие чего повышается их вариативность, применяемость в электрических схемах. Без полного понимания и точного выполнения требований документов по стандартизации и проведения унификации усложняется задача применения изделий электронной техники в электрических схемах. В целях обеспечения качества и улучшения разрабатываемой конструкторской документации на изделия электронной техники проведены исследования, результаты которых представлены в настоящей статье.

Условное графическое обозначение (УГО) – это унифицированное графическое, буквенное, цифровое или смешанное изображение изделий электронной техники (ИЭТ), применяемое на чертежах и схемах, установленное документами по стандартизации.

Вывод ИЭТ – это элемент конструкции ИЭТ, предназначенный для соединения с внешней электрической цепью.

При достаточной степени унификации УГО унификация обозначений выводов, указываемых УГО, нуждается в её проработке. Унификация обозначений выводов ИЭТ – это сокращение необоснованного многообразия обозначений выводов.

В современных условиях стремительного роста номенклатуры ИЭТ, унификация обозначений выводов УГО ИЭТ обеспечивает применение типовых схемных решений, позволяет читать схемы (чертежи) по единым правилам, снижает трудоёмкость и себестоимость разработки и производства РЭА, упрощает работы по её модернизации.

### Методика сравнительного анализа, использованная при обобщении и унификации обозначений выводов УГО

Для качественного исполнения технических заданий необходимо в полной мере обладать технической информацией, которая находится в разных стандартах и никак не унифицирована. Эта проблема была решена путём создания Указателя, в котором собрана необходимая информация. Для его создания была использована методика сравнительного анализа, в основу которой легло изучение различных документов, связанных с обозначениями выводов УГО, используемых в ИЭТ, их структурировании, объединении и унификации.

Чтобы Указатель имел наиболее широкое применение, необходимо было сделать так, чтобы он соответствовал единым правилам всех отраслей, в которых его можно применить. При этом возникла необходимость в исследовании порядка выполнения опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ [1], а также правил, по которым выполняются электрические схемы [2, 3]. В результате исследования потребовалось определить наиболее важные параметры ИЭТ. Данная методика позволила выделить не только основные параметры, но и аналогичные обозначения [4, 5]. Это позволит применять Указатель с учётом основных и аналогичных обозначений при разработке технических заданий на научно-исследовательские

и опытно-конструкторские работы, а также при разработке технических условий на ИЭТ.

В процессе поиска стандартов для унификации стало ясно, что буквенные обозначения электрических микросхем имеют разные обозначения одного и того же параметра [6, 7]. Также были выявлены особенности в обозначении проводов и контактных соединений [8]. Проблема в том, что множество усложняет унификацию. Чтобы избежать излишнего разнообразия, было принято решение выделить аналог каждого параметра, что в последствии позволило упростить унификацию.

Анализ стандартов помог выявить несоответствия, которые ставили под сомнение применение элементов в некоторых отраслях промышленности. Чтобы их исключить, были изучены виды и типы микросхем с учётом их особенностей. Анализ помог структурировать элементы микросхем на основе общих требований и исключить несоответствия [9].

Полученные данные были структурированы и обобщены, что позволило унифицировать назначения элементов по функциональному назначению [10, 11].

Чтобы оценить полноту полученных данных для реализации условных графических обозначений, были изучены стандарты, устанавливающие общие правила построения УГО [12, 13]. В результате исследования удалось собрать необходимые данные, в полной мере способствующие упрощению работы с условными графическими обозначениями, что позволит проводить опытно-конструкторские и научно-исследовательские работы на их основе.

Результаты сбора и анализа данных должны оказать существенное влияние на эффективность разработки и качество производства ИЭТ, а также будут способствовать конкурентоспособности предприятий, применяющих данный Указатель.

### Обобщения и унификации обозначений выводов УГО ИЭТ

В работе использовалась унификация, как основная форма и метод обобщения обозначений выводов, осуществляемая путём поиска критериев, по которым можно систематизировать обозначения выводов по определённому назначению.

Выполнение систематизации решается путём структуризации обозначений выводов ИЭТ и преобразования в единый Указатель обозначений выводов изделий электронной техники, применяемых при построении условных графических обозначений (далее – Указатель), в котором установлена иерархическая система символьных, графических, буквенно-цифровых обозначений элементов, функций электрических параметров ИЭТ с указанием их наименований (терминов), определений и необходимых пояснений.

Указатель представлен в цифровой форме. Он содержит обозначения выводов ИЭТ, применяемых при построении условных графических обозначений. Указатель приведён к виду, обеспечивающему обработку данных электронными средствами.

В цифровом виде Указатель находится в информационной поисковой системе «Дейтрон» [15] (фрагмент представлен в табл. 1).

Указатель состоит из пунктов, по которым можно выделить основные параметры ИЭТ. К обозначению

выводов по ГОСТ найдены их синонимы и выделены отдельно. Для более точного представления о назначении выводов УГО ИЭТ приводится их функциональное назначение.

Указатель можно применять для выбора параметров при разработке технических заданий на научно-исследовательские и опытно-

конструкторские работы, а также при разработке технических условий на ИЭТ.

С помощью Указателя можно установить общие правила построения условных графических обозначений элементов в схемах, выполняемых вручную или с помощью печатающих и графических устройств вывода электронно-вычислительных машин во всех отраслях промышленности.

Таблица 1

Фрагмент Указателя обозначений выводов УГО ИЭТ

Обозначение вывода	Синоним обозначения вывода	Функциональное назначение ИЭТ	Примечание
-n	DOWN	Вход обратного счёта (вход уменьшения)	Параметр n следует заменить значением, на которое увеличивается или уменьшается содержимое счётчика
Pn		Вход операнда, над которым выполняется одна или несколько математических операций	Параметр n заменяется десятичным эквивалентом этого бита. Если значение всех входов Pn есть степени с основанием 2, n может быть заменён двоичным порядком. В случае наличия второго операнда предпочтительно обозначением его является «Q»
+n	UP	Вход прямого счёта (вход увеличения)	Параметр n следует заменить значением, на которое увеличивается или уменьшается содержимое счётчика

#### Результаты сбора и анализа информации об обозначениях выводов УГО ИЭТ

Проведённые исследования по сбору информации из значительного объёма конструкторской документации, такой как технические условия, справочные листы и др., позволили определить более 4000 уникальных, применяемых разработчиками ИЭТ, обозначений выводов УГО ИЭТ. В результате анализа собранной информации были отсортированы и структурированы обозначения выводов УГО ИЭТ согласно действующим стандартам по обозначениям выводов УГО ИЭТ.

Вследствие унификации обработанной в результате анализа базы собранной информации по обозначениям выводов УГО ИЭТ удалось добиться сокращения их вариантов более чем в 4 раза.

Ниже приведена табл. 2, в которой показано на сколько снизилось количество обозначений выводов УГО ИЭТ после их унификации.

Использование Указателя позволит точно выбирать параметры при разработке технических заданий,

научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также при разработке технических условий на ИЭТ.

#### Заключение

В ходе исследования проведён сбор информации на основании документов по стандартизации обозначений выводов изделий электронной техники, применяемых при построении условных графических обозначений. В результате применения методики сравнительного анализа удалось обобщить и унифицировать обозначения выводов УГО ИЭТ, что позволило их систематизировать. В результате её применения был разработан Указатель, позволяющий однозначно читать схемы (чертежи) по единым правилам, снизить трудоёмкость и себестоимость разработки и производства РЭА, упростить работы по её модернизации. Указатель готов для применения и находится в информационной поисковой системе «Дейтрон».

Таблица 2

Наименование обозначений/параметров	Кол-во вариантов до унификации	Кол-во вариантов после унификации
Обозначения функций элементов	447	120
Обозначения основных меток выводов элементов	761	145
Обозначения основных меток, указывающих функциональное назначение выводов, не несущих логической информации	104	29
Схемы цифровых устройств, обработки информации, запоминающих устройств	562	117

Наименование обозначений/параметров	Кол-во вариантов до унификации	Кол-во вариантов после унификации
Схемы для вторичных источников питания	116	35
Схемы обработки аналоговых сигналов	77	25
Преобразователи	64	36
Схемы сравнения	21	16
Операционные усилители	23	9
Усилители низкой, промежуточной, высокой частоты, широкополосные усилители, видеоусилители	39	22
Параметры напряжения	676	76
Параметры тока	610	54
Параметры мощности	41	12
Параметры сопротивления	28	10
Параметры ёмкости	31	20
Временные параметры	415	62
Коэффициенты	142	49
Параметры частоты	55	23
Прочие параметры	97	29

### Литература

1. ГОСТ Р 53736–2009. Изделия электронной техники. Порядок создания и постановки на производство. Основные положения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200076751> (дата обращения: 09.07.2021 г.).

2. ГОСТ 2.702–2011. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200086241> (дата обращения: 08.07.2021 г.).

3. ГОСТ Р 50044–2009. Изделия электронной техники для поверхностного монтажа радиоэлектронной аппаратуры. Требования к конструктивной совместимости. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200081852> (дата обращения: 09.07.2021 г.).

4. ГОСТ 2.743–91. Микросхемы интегральные. Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200010863> (дата обращения: 09.07.2021 г.).

5. ГОСТ Р 55893–2013. Микросхемы интегральные. Основные параметры. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200107798> (дата обращения: 06.07.2021 г.).

6. ГОСТ Р 57441–2017. Микросхемы интегральные. Термины, определения и буквенные обозначения электрических параметров. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200144929> (дата обращения: 09.07.2021 г.).

7. ГОСТ 2.710–81. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200001985> (дата обращения: 10.07.2021 г.).

8. ГОСТ 2.709–89. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные проводов

и контактных соединений электрических элементов, оборудования и участков цепей в электрических схемах. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004560> (дата обращения: 05.07.2021 г.).

9. ГОСТ 2.701–2008. Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200069439> (дата обращения: 03.07.2021 г.).

10. ГОСТ Р 57435–2017. Микросхемы интегральные. Термины и определения. – М., 2017. – 3 с.

11. ГОСТ Р 51725.17.1–2016. Каталогизация продукции для федеральных государственных нужд. Формулирование терминологии русского технического открытого словаря на русском языке. Общие требования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200138355> (дата обращения: 09.07.2021 г.).

12. ГОСТ 2.721–74. Обозначения условные графические в схемах. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200007058> (дата обращения: 06.07.2021 г.).

13. ГОСТ 2.755–87. Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200007014> (дата обращения: 09.07.2021 г.).

14. ГОСТ 1.1–2002. Межгосударственная система стандартизации. Термины и определения. – М., 2003. – 22 с.

15. Информационная поисковая система «Дейтрон» – [Электронный ресурс] URL: <http://www.deyton.ru>.

16. ГОСТ 2.747–68. Обозначения условные графические в схемах. Размеры условных графических обозначений. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200010867> (дата обращения: 03.07.2021 г.).

**МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБОСНОВАНИЮ СОЗДАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОГО ЦЕНТРА ОРГАНИЗАЦИИ  
И ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ЭКБ И РЭА**

**METHODOLOGICAL APPROACH TO SUBSTANTIATING THE CREATION OF AN INTEGRATED CENTER  
FOR THE ORGANIZATION AND CONDUCT OF ECB AND REA TESTS**

**Булгаков О. Ю.**, к. в. н., заслуженный работник связи РФ, АНО «Электронсертифика»; +7 (985) 725-73-68, bulgakov56@yandex.ru; **Подъяпольский С. Б.**, к. т. н., ФГУП «МНИИРИП»; +7 (495) 586-17-21, psb@mniirip.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;

**Podyapolskii S. B.**, Ph. D. of engineering sciences, FSUE «MNIIRIP»; +7 (495) 586-17-21, psb@mniirip.ru

*В статье рассмотрен вопрос о необходимости создания Интегрированного Центра организации и проведения испытаний ЭКБ и РЭА. Проводится анализ причин недостаточно оперативного, достоверного и своевременного решения задач организации и проведения испытаний ЭКБ. Определяются пути решения актуальной задачи по формированию системы деятельности испытательных подразделений. Предлагается методический подход к обоснованию создания структуры Интегрированного центра испытаний ЭКБ и РЭА, рекомендации (предложения) по совершенствованию организации взаимодействия и функционированию подразделений Интегрированного центра.*

*The article discusses the need to create an Integrated Center for the organization and conduct of ECB and REA tests. The analysis of the reasons for the insufficiently prompt, reliable and timely solution of the tasks of organizing and conducting ECB tests is carried out. The ways of solving the urgent task of forming a system of activities of test units are determined. A methodological approach is proposed to substantiate the creation of the structure of the Integrated ECB and REA Testing Center, recommendations (proposals) for improving the organization of interaction and functioning of the Integrated Center units.*

**Ключевые слова:** испытательная лаборатория (центр) (ИЛ(Ц)), электронная компонентная база отечественного производства (ЭКБ ОП), электронная компонентная база импортного производства (ЭКБ ИП), радиоэлектронная аппаратура (РЭА).

**Keywords:** testing laboratory (center) (IL (C)), electronic component base of domestic production (ECB DP), electronic component base of imported production (ECB FP), radio electronic equipment (EE).

### Введение

Основой современной радиоэлектронной аппаратуры, которая определяет её технические возможности и эксплуатационные характеристики, является электронная компонентная база (далее – ЭКБ). Качество выпускаемой радиоэлектронной аппаратуры (далее – РЭА) напрямую зависит от качества разрабатываемой и производимой предприятиями ЭКБ, подтверждения заданных технических характеристик по результатам проведённых испытаний на соответствие требованиям нормативно-технических документов в специализированных и аккредитованных для этой цели испытательных лабораториях (центрах) (далее – ИЛ(Ц)).

Анализ деятельности аккредитованных в Системе добровольной сертификации «Электронсерт» (далее – СДС «Электронсерт») ИЛ(Ц) в период с 2015 г. показывает, что существует недостаточная координация в использовании сил (инженерно-технический персонал) и средств (испытательное оборудование (далее – ИО), средств измерений (далее – СИ) ИЛ(Ц) для получения желаемого, оптимального, достоверного и своевременного результата заказчиком после проведения испытаний ЭКБ и РЭА по всей номенклатуре.

### Основная часть

Как показано в [1], при наличии обширного совокупного парка ИО и СИ, обеспечивающих проведение всех видов испытаний, по объективным и субъективным причинам затруднён процесс взаимодействия между ИЛ(Ц).



Булгаков О. Ю.



Подъяпольский С. Б.

Также проведённый анализ нормативной и методической документации отечественной и зарубежной базы показывает, что в настоящее время отсутствуют документы, определяющие порядок и правила функционирования сложных распределённых испытательных систем.

Причины «перекосов» можно разделить на организационные и технические.

К основным организационным причинам можно отнести:

– отсутствие системной информации о возможностях, наличии и состоянии ИО и СИ в ИЛ(Ц), в том числе и уникального, в режиме «online»;

- консерватизм и работа со «своими» подрядчиками;
- отсутствие организационной структуры, проводящей системный анализ причин увеличения времени проведения испытаний ЭКБ и РЭА, отказов при проведении испытаний ЭКБ;
- удалённость ИЛ(Ц) друг от друга, логистические проблемы.

К основным техническим причинам можно отнести:

- недостаточный уровень обеспеченности ИЛ(Ц) ИО и СИ, их метрологического обеспечения;
- ограниченный состав в ИЛ(Ц) испытательных оснасток различного конструктивного исполнения для проведения испытаний ЭКБ и РЭА, что влечёт временные и финансовые затраты на разработку оснастки под конкретный заказ;
- отсутствие возможностей инструментального входного контроля на проверку наличия признаков контрафакта и информации от других ИЛ(Ц);
- недостаточный уровень обеспеченности ИЛ(Ц) актуальными документами по стандартизации.

Исходя из основных результатов анализа функционирования, аккредитованных в СДС «Электронсерт» ИЛ(Ц) [3], возникает необходимость в обосновании и выборе некой структуры (далее – Интегрированный центр), которую можно было бы представить в виде организационно-технического объединения сил и средств, существующих ИЛ(Ц).

Таким образом очевидно, что возникли и существуют противоречия между возрастающими требованиями к системе испытаний и функционированием сил и средств, аккредитованных ИЛ(Ц).

Основываясь на этом возникает необходимость определения путей устранения возникающих противоречий, применения методического аппарата для обоснования необходимости создания оптимальной, интегрированной, цифровой, информационной структуры проведения испытаний ЭКБ и РЭА на базе существующих ИЛ(Ц) радиоэлектронной отрасли. В этом и заключается новизна рассматриваемого вопроса.

Подходя к решению задач по обоснованию и выбору системы испытаний, из вышеизложенного и отмеченного в [2] следует, что целесообразно будет при постановке задач исследования, обоснования выбора и построения современной оптимальной, интегрированной, цифровой, информационной структуры проведения испытаний ЭКБ и РЭА рассматривать методы и способы, которые обеспечивают их интеграцию.

При разрешении противоречий и решения задач создания Интегрированного центра, на наш взгляд, необходимо придерживаться следующих принципов [4, 5]:

- оптимального использования ресурсов участников Интегрированного центра;
- единой системы нормативно-методического обеспечения деятельности Интегрированного центра;
- единой системы правил функционирования и обеспечения системы менеджмента качества участников Интегрированного центра;
- системного подхода к организации обучения и повышения квалификации сотрудников ИЛ(Ц);

- единства формы передачи данных и документов в Интегрированном центре;
- единой системы контроля функционирования в Интегрированном центре;
- единой системы учёта и использования участниками Интегрированного центра результатов испытаний;
- единой системы управления информацией о наличии и состоянии испытательной оснастки участников Интегрированного центра (банк коллективного пользования).

Разрешение данного противоречия возможно путём решения актуальной научной задачи, вербальная постановка которой может быть сформулирована следующим образом: «На основе анализа организационных и технических возможностей ИЛ(Ц) ( $S, Z, T, L$ ), имеющихся ИО и СИ ( $F$ ) разработать отвечающую современным требованиям структуру ( $g^*$ ) Центра организации и проведения испытаний ЭКБ и РЭА (на основе оптимальной, интегрированной, цифровой, информационной системы), объединяющую собой организационно и технически имеющиеся в радиоэлектронной отрасли ИЛ(Ц) ( $S$ ), руководящий и инженерно-технический персонал ( $P$ ), ИО и СИ и соответствующие рекомендации ( $r$ ) должностным лицам по оптимальному применению имеющихся у них возможностей для функционирования Интегрированного центра», где:

$S$  – ИЛ(Ц);

$F$  – ИО и СИ ИЛ(Ц);

$P$  – руководящий и инженерно-технический персонал ИЛ(Ц);

$Z$  – множество испытаний ЭКБ, проводимых ИЛ(Ц);

$T$  – требования к управлению ИЛ(Ц);

$L$  – деловая репутация ИЛ(Ц) на рынке;

$g$  – существующие структура и взаимосвязи между ИЛ(Ц);

$g^*$  – рациональная структура и взаимосвязи между ИЛ(Ц);

$r$  – рекомендации по совершенствованию организации взаимодействий в создаваемой структуре  $g^*$ .

Решение поставленной задачи исследования может быть сформулировано следующим образом: «Для заданных исходных данных  $I = \{S, F, P, Z, T, L\}$  разработать и обосновать структуру Интегрированного центра ( $g^*$ ), сформировать рекомендации должностным лицам по совершенствованию организации управления системой проведения испытаний ЭКБ ( $r$ ), при которых

$$W(I, g^*, r) \geq W_{\text{ТР}} \quad (1.1)$$

$$g^* \in G_{\text{реал}}$$

$$C(I, g^*, r) \leq C_{\text{зад}} \quad (1.2)$$

где:

$W$  – оперативность получения оптимального, достоверного и своевременного результата испытаний ( $W = 1/t_{\text{зад}}$ );

$t_{\text{зад}}$  – заданное время получения результата при проведении испытаний;

$W_{\text{ТР}}$  – требуемая оперативность получения оптимального, достоверного и своевременного результата испытаний;

$C$  – затраты на построение структуры Интегрированного центра;

$C_{\text{зад}}$  – допустимые затраты на построение структуры Интегрированного центра;

$G$  – множество возможных структур Интегрированного центра;

$G_{\text{реал}}$  – множество структур, которые могут быть реально реализованы.

Анализ поставленной задачи показывает:

1. В настоящее время отсутствуют аналитические зависимости  $W(I, g^*, r)$  и  $C(g^*, r)$ .

2. Исходные данные включают перечень показателей, не имеющих однозначного физического смысла и единой шкалы измерения, а отдельные из них задаются на качественном уровне.

В соответствии с этим данная задача не может быть решена с использованием математических методов и для её решения целесообразно провести декомпозицию на две последовательно решаемые задачи:

1. На базе предъявляемых современных требований к оптимальным, достоверным и своевременным результатам деятельности ИЛ(Ц), применяя известный научно-методический аппарат, обосновать структуру Интегрированного центра организации и проведения испытаний ЭКБ и РЭА (далее – Интегрированный центр)  $g^*$ , порядок вхождения в него, при которых

$$g^* \in G_{\text{реал}}, C(I, g^*) \leq C_{\text{зад}}^g.$$

2. Разработать рекомендации (предложения) по совершенствованию организации взаимодействий в создаваемой структуре ( $r$ ) при заданной структуре  $g^*$  (имеющихся в ИЛ (Ц) возможностей инженерно-технического персонала, ИО и СИ) для функционирования Интегрированного центра, при которых

$$W(I, g^*, r) \geq W_{\text{тр}},$$

$$C(I, g^*) \leq C_{\text{зад}}^g.$$

С учётом известных подходов к решению подобных задач можно сделать вывод, что наиболее приемлемым методом их решения является метод имитационного моделирования [5, 6]. При этом шаги реализации последовательно будут содержать

модели действий, описывающие реальную систему, процессы, происходящие в действительности, и на базе накопленного положительного и отрицательного опыта, позволят получить информацию о требуемой структуре Интегрированного центра в целом. Одним словом, это постижение сути явления без экспериментов на реальном объекте.

Для решения первой задачи по обоснованию основных подходов к созданию структуры Интегрированного центра необходимо на основании задач, которые решаются ИЛ(Ц) в повседневной деятельности, показателей и критериев функционирования, обосновать интегрированную структуру, которая решала бы с заданным качеством основные задачи, а не второстепенные.

Таким образом, под результатом деятельности Интегрированного центра целесообразно понимать способность оптимально, достоверно и своевременно получать результаты испытаний ЭКБ и РЭА, формировать необходимые достоверные результаты в конкретных условиях в течение заданного времени [2]. Предлагаемая система функционирования позволит консолидировать силы организаций радиоэлектронной отрасли, привлечь к этой работе специалистов, организовать системные работы в области управления качеством и анализа отказов ЭКБ для РЭА, оптимизировать решение существующих в этой области как объективных, так и субъективных проблем и обеспечит выполнение условий, при которых

$$W(I, g^*, r) \geq W_{\text{тр}}, g^* \in G_{\text{реал}}, C(I, g^*) \leq C_{\text{зад}}^g.$$

Для оценки предъявляемых требований к ИЛ(Ц) по порядку вхождению в состав Интегрированного центра предлагается использовать показатели и критерии, которые в основном характеризуют их и отражают степень выполнения задач получения результатов деятельности в ходе испытаний ЭКБ за определённый промежуток времени (например, 3–5 лет).

Показатели ( $J$ – перечень показателей)	Критерии
$S$ – чистота юридического оформления ИЛ(Ц)	- нормативные и уставные документы юридического лица; - лицензии, аттестаты на соответствующие виды деятельности согласно стандартам, серии ISO 9001; - наличие нормативной документации
$F$ – обеспеченность ресурсами	- обеспеченность ИО, СИ и материально-техническими средствами; - эффективность технического обслуживания и обеспечения ИО и СИ
$P$ – руководящий и инженерно-технический персонал ИЛ(Ц)	- укомплектованность персоналом; - соответствие образования персонала занимаемым должностям; - совершенствование квалификации персонала
$Z$ – множество испытаний ЭКБ, объём работы	- наличие программ и методик проведения испытаний ЭКБ; - качество проведения испытаний; - сроки проведения испытаний; - количество заявок на испытания
$T$ – управленческая компетентность	- эффективность организационной структуры; - финансовая устойчивость ИЛ(Ц); - цена испытаний и услуг; - предлагаемые финансовые условия (меньше аванс – меньше риск заказчика); - число контрактов с клиентами

Показатели ( <i>J</i> – перечень показателей)	Критерии
<i>L</i> – деловая репутация ИЛ(Ц)	- отзывы заказчиков; - ежегодный оборот; - опыт работ за последние 3–5 лет; - участие в судебных разбирательствах; - отсутствие задолженности в налоговых органах
другие выбранные заказчиком показатели	...

Для оценки ИЛ(Ц) наиболее приемлемым в нашем случае может быть известный метод рейтинговой оценки [7], позволяющий комплексно производить оценку конкретной ИЛ(Ц), расставить приоритеты среди большого количества показателей и дать основание для включения его в состав Интегрированного центра. Из многообразия возможных показателей для ИЛ(Ц) нами определены основные показатели *S, F, P, Z, T, L* выбора. Далее экспертным путём проводится их ранжирование и на основании этого рассчитываются весовые коэффициенты, определяется значимость каждого показателя (критерия) для конкретной ИЛ(Ц) и рассматривается вопрос их включения в состав Интегрированного центра.

Вычисление значения рейтинга по каждому показателю определяется произведением удельного веса показателя на его экспертную бальную оценку (например, по 5- или 10-бальной шкале) для данной ИЛ(Ц) [7].

Полученное суммарное значение рейтинга по всем показателям даёт нам итоговый  $R_i$  рейтинг для конкретной *i*-й ИЛ(Ц) по формуле:

$$R_i = R_{ij} \times a_j, \quad (1.3)$$

где:

*i* – индекс ИЛ(Ц);

*j* = 1, 2, ..., *n*;

*J* – перечень показателей;

$R_{ij}$  – оценка *j*-го показателя по *i*-й ИЛ(Ц), баллов;

$a_j$  – вес *j*-го показателя.

Сумма весовых коэффициентов должна быть равна единице. Для наглядности и удобства применения показателей целесообразно сводить в таблицу результаты оценки ИЛ(Ц), которые планируются для включения в состав Интегрированного центра (см. табл. 1 в качестве примера).

Таблица 1

Рейтинговая оценка ИЛ(Ц)

Показатели выбора ИЛ (Ц)	Вес показателя $a_j$	Оценка показателя по рассматриваемой ИЛ(Ц) $R_{ij}$				Произведение веса на оценку по рассматриваемой ИЛ(Ц) $R_i$			
		1	2	3	<i>n</i>	1	2	3	<i>N</i>
<i>S</i> – чистота юридического оформления ИЛ(Ц)	0,3	7	5	8	...	2,1	1,5	2,4	...
<i>F</i> – обеспеченность ресурсами	0,25	6	2	3	...	1,5	0,5	0,75	...
<i>P</i> – руководящий и инженерно-технический персонал ИЛ(Ц)	0,15	8	6	8	...	1,2	0,9	1,2	...
<i>Z</i> – множество испытаний ЭКБ, объём работы	0,15	4	7	2	...	0,6	1,05	0,3	...
<i>T</i> – управленческая компетентность	0,10	7	7	2	...	0,7	0,7	0,2	...
<i>L</i> – деловая репутация ИЛ(Ц)	0,05	4	3	7	...	0,2	0,15	0,35	...
ИТОГО	1					6,3	4,8	5,2	...
<b>Рейтинг выбираемых ИЛ(Ц)</b>						<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>...</b>

Рейтинговая оценка, на наш взгляд, должна быть ранжирована на уровни (каждому из которых должны соответствовать пороговые значения) оценки состояния ИЛ(Ц) и её возможностей предоставлять заказчику требуемые услуги по проведению испытаний ЭКБ.

Подходы к решению второй задачи разработке рекомендаций (предложений) по совершенствованию организации взаимодействий (*r*) при заданной структуре  $g^*$ , определения алгоритмов функционирования предлагаемой системы, состав и взаимодействие

функциональных блоков Интегрированного центра будут рассмотрены в следующем номере журнала.

#### Заключение

Рассмотренные подходы к созданию и функционированию Интегрированного центра должны обеспечить предприятиям радиоэлектронной отрасли организацию и проведение всех видов испытаний ЭКБ и РЭА с соответствующими требованиями и в полном объеме. Эффективное функционирование цифровой информационно-расчётной системы в виде информационной площадки с реализацией в ней взаимоувязанного обмена между ИЛ(Ц) цифровой информацией позволит заказчикам получать оптимальное, достоверное и своевременное оказание услуг при испытании ЭКБ и РЭА. Всё это позволит сократить сроки предоставления услуг, уменьшить неэффективные расходы и обеспечить качество испытаний ЭКБ и РЭА на уровне требований нормативных документов.

#### Литература

1. Куцько П. П., Булгаков О. Ю. Концепция создания Интегрированного центра испытаний ЭКБ и РЭА. // «Электроника. Наука. Технология. Бизнес», Москва, 2018. – № 10. – УДК 621.38. ВАК 05.27.06. – с. 76–78.
2. Булгаков О. Ю., Подъяпольский С. Б. Анализ, направления и задачи системных работ по обеспечению качества и надёжности ЭКБ. Итоги II Межведомственной межотраслевой научно-практической конференции «Обеспечение качества и соответствия изделий ЭКБ. СМК предприятий и подготовка специалистов». // Сборник докладов ФГУП «МНИИРИП», Мытищи, 2020. – с. 227.
3. Булгаков О. Ю., Подъяпольский С. Б. Одна из методик оценки качества функционирования СМК поставщиков ЭКБ. // «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения», Мытищи, 2021. – № 3. – с. 18–21.
4. Демин А. Г. Управленческие решения. Учебное пособие. – Пермский ГНИУ, 2020. – УДК338.24. – 92 с.
5. Никонов О. И. Математическое моделирование и методы принятия решений: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Уральского федерального университета, 2015. – 100 с.
6. Тебекин А. В. Методы принятия управленческих решений: учебник. М.: Юрайт, 2019. – 431с.
7. Постюшков А. В. Методика рейтинговой оценки предприятий. Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова. // «Имущественные отношения в РФ», Москва, 2003. – № 1 (16). – с. 46–54.

УДК 621.3.019.34

### ТИПОВЫЕ ОШИБКИ В ПРОГРАММАХ И МЕТОДИКАХ ИСПЫТАНИЙ НА НАДЁЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ ДЛЯ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

### TYPICAL ERRORS IN PROGRAMS AND METHODS OF RELIABILITY TESTS OF ELECTRONIC COMPONENTS FOR ONBOARD EQUIPMENT OF ROCKET AND SPACE TECHNOLOGY

Сашов А. А., к. т. н., Каськов Т. Н., Кулибаба А. Я., Суконкин М. К., Штукарев А. Ю.,  
НЦ СЭО, АО «Российские космические системы», ncseo@spacecorp.ru

Sashov A. A., Ph.D. of Engineering Sciences, Kaskov T. N., Koulibaba A. Ya., Sukonkin M. K., Shtukarev A. Yu.,  
JSC «Russian space systems», ncseo@spacecorp.ru

*В статье приведены типовые ошибки в программах и методиках испытаний на надёжность электронной компонентной базы для бортовой аппаратуры ракетно-космической техники, выявленные АО «Российские космические системы» за период 2020–2021 гг. Целью статьи является уменьшение количества ошибок при разработке новых программ и методик.*

*The article presents typical errors in programs and methods of reliability tests of electronic components for onboard equipment of rocket and space technology, found by JSC «Russian space systems» during 2020–2021 years. Purpose of the article is to reduce number of errors in new programs and methods.*

**Ключевые слова:** испытания на надёжность, программа и методики испытаний, ракетно-космическая техника, электронная компонентная база.

**Key words:** program and methods of tests, reliability tests, rocket and space technology, electronic components.

#### Введение

Научный центр сертификации элементов и оборудования (далее – НЦ СЭО) – испытательный центр АО «Российские космические системы», головной научно-исследовательской организации ракетно-космической

промышленности по применению электрорадиоизделий. На НЦ СЭО возложена функция согласования программ и методик испытаний (далее – ПМИ) электронной компонентной базы (далее – ЭКБ) для ракетно-космической техники, разрабатываемых другими организациями.



Сашов А. А.



Кулибаба А. Я.



Каськов Т. Н.



Штукарев А. Ю.

Испытания проводятся для подтверждения соответствия ЭКБ требованиям модели внешних воздействующих факторов (далее – ВВФ) на неё в аппаратуре. За период 2020–2021 гг. было рассмотрено более 10 ПМИ, в результате чего были выявлены типовые ошибки в части испытаний на надёжность, описанные ниже.

#### Основная часть

#### Неправильно задаются требования к надёжности ЭКБ

Разработчики ПМИ при задании требований к надёжности ЭКБ часто используют неправильные термины:

- «наработка», «срок сохраняемости», которые не являются показателями надёжности, а означают соответственно продолжительность работы объекта и продолжительность его хранения и/или транспортирования, т. е. случайные величины [1];

- «минимальная наработка», «минимальный срок сохраняемости», которые использовались в ГОСТ В 20.39.403–81 и являются устаревшими;

- «срок активного существования», «ресурс», «срок службы», которые относятся к аппаратуре, а не к ЭКБ.

Требования к надёжности ЭКБ должны задаваться в соответствии с ГОСТ РВ 0020–39.413–2020 в виде следующих показателей:

- для безотказности: гамма-процентная наработка до отказа ( $T_\gamma$ , ч) или совокупность интенсивности отказов ( $\lambda$ , ч<sup>-1</sup>) и наработка, в течение которой действуют требования к интенсивности отказов ( $t\lambda$ , ч);

- для сохраняемости: гамма-процентный срок сохраняемости ( $T_\gamma$ , лет).

При этом должно быть указано значение вероятности безотказной работы «гамма» ( $\gamma$ ). Разработчики ПМИ часто выбирают «типовое» значение  $\gamma = 95\%$ , которое, как правило, является заниженным. Если учесть преобладание стандартов ГОСТ В 20.39.403–81 и ГОСТ РВ 20.39.413–97, в последнем из которых произошла замена «минимальных» показателей на «гамма-процентные», то следует устанавливать  $\gamma = 99\%$ . При этом значения  $\gamma$  или  $\lambda$  должны быть согласованы с разработчиком аппаратуры, т. к. они должны быть не хуже тех, которые использовались при расчете её надёжности.

#### Проводится расчёт надёжности ЭКБ вместо испытаний

Разработчики ПМИ для подтверждения требований к ЭКБ часто вместо испытаний приводят расчётную оценку надёжности изделий, сделанную на основе справочников (MIL-HDBK–217F [2] и др.). Чаще всего пренебрегают испытаниями на сохраняемость («а что может случиться при хранении?») и испытаниями пассивной ЭКБ (из-за кажущейся простоты изделий и большого числа их типонаименований – «слишком трудоёмко»).

В случае бортовой аппаратуры ракетно-космической техники заменять испытания ЭКБ на расчёт недопустимо. Первая причина: высокие риски, т. к. аппаратура неремонтопригодная и имеет длительный срок активного существования. Вторая причина: для ЭКБ без технических условий производитель не гарантирует надёжности, а также отсутствуют данные об объёме её производственных испытаний.

Расчёт на основе справочников может использоваться для подтверждения  $T_\gamma$ ,  $T_{c\gamma}$ , но в дополнение к испытаниям (например, для обобщения результатов с помощью теоремы Байеса [3]), а не вместо них.

#### Неправильно выбираются условия эксплуатации (хранения) ЭКБ для расчёта коэффициента ускорения испытаний

В связи с необходимостью за короткий срок подтверждать высокие требования к ЭКБ испытания на надёжность проводятся ускоренными методами. Для расчёта коэффициента ускорения испытаний на безотказность  $K_{уб}$  используют закон Аррениуса [4]:

$$K_{уб} = \exp \left[ \frac{E_a}{k_B} \left( \frac{1}{T_{кэ}} - \frac{1}{T_{ки}} \right) \right],$$

где  $E_a$  – энергия активации механизма отказа, эВ;

$k_B = 8,617 \times 10^{-5}$  – постоянная Больцмана, эВ/К;

$T_{ки}$ ,  $T_{кэ}$  – температура кристалла ЭКБ (для полупроводниковых изделий) при испытаниях и эксплуатации соответственно, К.

Для расчёта коэффициента ускорения испытаний на сохраняемость  $K_{ус}$  используют, как правило, закон Аррениуса–Пэка [5]:

$$K_{ус} = \left( \frac{RH_{и}}{RH_x} \right)^n \exp \left[ \frac{E_a}{k_B} \left( \frac{1}{T_x} - \frac{1}{T_{и}} \right) \right],$$

где  $RH_{и}$ ,  $RH_x$  – относительная влажность среды при испытаниях и хранении соответственно, %;

$n$  – коэффициент влияния влажности;

$T_{и}$ ,  $T_x$  – температура среды при испытаниях и хранении соответственно, К.

Разработчики ПМИ часто в качестве параметров при эксплуатации ( $T_{кэ}$ ) и хранении ( $RH_x$ ,  $T_x$ ) используют типовые значения: +25 °С, 60 %. Однако реальные значения могут отличаться в зависимости от конкретных условий применения аппаратуры. Неправильный выбор этих параметров приводит к неточному расчёту коэффициента ускорения (обычно к его завышению) и снижению достоверности испытаний.

Параметры при эксплуатации и хранении должны быть согласованы с разработчиком аппаратуры

и, желательны, включены в модель ВВФ на ЭКБ в аппаратуре. Например, для расчёта коэффициента ускорения можно использовать значения:

- из модели ВВФ;
- для хранения: из ГОСТ 15150 [6], ГОСТ В 9.003;
- для эксплуатации: из расчёта надёжности аппаратуры (температура окружающей среды 35 °С по справочнику [7]).

**Безосновательно объединяются изделия ЭКБ в испытательные группы и проводятся испытания на типовых представителях**

Испытательная группа – это совокупность типов изделий, объединённых по конструктивному и/или технологическому признакам, определяющим особенности их конструкции или изготовления [8]. В полном объёме этой информацией владеет только производитель ЭКБ, поэтому включать в ПМИ испытания на типовых представителях следует с большой осторожностью.

Разработчики ПМИ иногда объединяют в испытательные группы:

- изделия одного функционального типа, но с разной схемотехникой (например, все операционные усилители);
- изделия в одном корпусе, но от разных изготовителей (например, все чип-резисторы типоразмера 0805);
- изделия одного типонаминала, но разных годов изготовления (несмотря на то что могла поменяться технология или конструкция).

На наш взгляд, типовых представителей допускается выбирать только для пассивных чип-компонентов из-за большого числа их типонаминалов, причём следующим образом:

- идентифицируются партии, которые включают конструктивно и технологически подобные элементы;
- с одинаковыми типоразмером, производителем, годом выпуска, точностью;
- затем полученное множество упорядочивается по возрастанию относительно своих номиналов;
- из упорядоченного множества выбираются партии с максимальным, средним и минимальным номиналами.

**Неправильно трактуются кратковременные испытания на безотказность**

Согласно ГОСТ РВ 0020–57.414–2020 цель кратковременных испытаний на безотказность – контроль стабильности технологического процесса изготовления

изделий, а цель длительных испытаний – подтверждение требований надёжности непосредственно по результатам испытаний. Цель испытаний ЭКБ на соответствие модели ВВФ – подтверждение требований к изделиям, заданных в модели. Таким образом, в рамках данных испытаний должны проводиться длительные испытания на безотказность. А т. к. сроки изготовления аппаратуры ограничены, то проводят ускоренные длительные испытания.

Разработчики ПМИ иногда используют кратковременные испытания на безотказность, чтобы, «не заморачиваясь», выбрать их продолжительность по ГОСТ РВ 0020–57.414–2020 без расчёта коэффициента ускорения. Хотя это и неверно, но в целом объём ускоренных длительных испытаний может совпадать с объёмом кратковременных, если его достаточно для подтверждения  $T_{\gamma}$ .

Также в ряд ПМИ с кратковременными испытаниями на безотказность был ошибочно включён пункт ГОСТ РВ 0020–57.414–2020, согласно которому при обнаружении одного отказа, связанного с качеством ЭКБ, в период от 500 до 1000 ч продолжительность испытаний увеличивают до 1500 ч. В случае длительных испытаний, если такой отказ произошёл, их результаты признают отрицательными или увеличивают суммарное количество элементо-часов (с учётом отказа) до значения, достаточного для подтверждения требуемой  $T_{\gamma}$ .

**В методике испытаний на надёжность отсутствует способ подтверждения  $\gamma$  (2)**

Длительность ускоренных испытаний на безотказность должна составлять не менее  $(T_{\gamma} / K_{УБ})$ , на сохраняемость – не менее  $(T_{ср} / K_{УС})$  (если не используется прогнозирование деградации информативных параметров ЭКБ по временной зависимости). Типовой объём выборки ЭКБ для испытаний на соответствие модели ВВФ – 5 изделий. Проведение испытаний 5 шт. с указанной длительностью при нуле отказов не подтверждает даже  $\gamma = 95$  % при доверительной вероятности  $P_{доп} = 60$  % (если не используется анализ распределения вероятностей информативных параметров ЭКБ). Таким образом, необходимо или удлинять испытания, или увеличивать выборку, или вводить дополнительную обработку результатов измерений. Однако разработчики ПМИ могут указывать фиксированный объём испытаний без разъяснения, каким образом будут подтверждаться требуемые показатели надёжности.

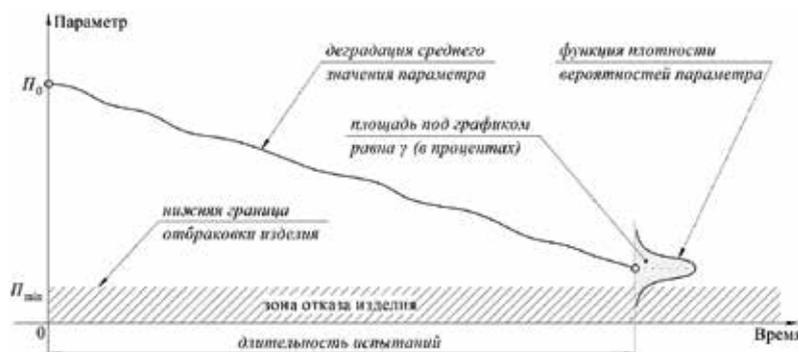


Рис. 1. Пример анализа распределения вероятностей параметра ЭКБ

Для подтверждения  $\gamma(\lambda)$  можно использовать один из следующих способов:

а). Анализ распределения вероятностей информативных параметров ЭКБ.

Способ заключается в вычислении площади под графиком плотности распределения вероятностей информативного параметра ЭКБ (в конце испытаний) за вычетом участков, выходящих за нормы отбраковки (см. рис. 1). Данная площадь должна быть не менее  $\gamma$ , а при её оценке должна учитываться заданная  $P_{\text{доп}}$ .

На наш взгляд, в условиях ограничений по выборкам и срокам испытаний ЭКБ данный подход является предпочтительным, т. к. он позволяет работать с малыми выборками, а также использовать прогнозирование деградации информативных параметров ЭКБ по временной зависимости [9], тем самым ещё сокращая испытания:

б). Определение объёма выборки в соответствии с приложением А ГОСТ РВ 0020–57.414–2020:

$$n = -\frac{\chi^2(d, P_{\text{дов}})}{2 \cdot \ln\left(\frac{\gamma}{100}\right)},$$

где  $d$  – допустимое количество отказов (обычно 0). Например, для  $\gamma = 95\%$  и  $P_{\text{дов}} = 60\%$  требуется 18 изделий:

в). Обобщение результатов испытаний с результатами расчётной оценки надёжности, сделанной на основе справочников, с помощью теоремы Байеса [3] по формуле:

$$\lambda = \frac{\chi^2(2 \cdot d + 2, P_{\text{дов}})}{2 \cdot \left(\frac{1}{\lambda_{\text{расч}}} + N \cdot t_{\text{И}} \cdot K_{\gamma}\right)},$$

где:  $d$  – количество отказов;

$t_{\text{И}}$  – длительность испытаний;

$N$  – объём выборки;

$\lambda_{\text{расч}}$  – расчётная оценка интенсивности отказов.

На наш взгляд, данный подход наименее предпочтителен – см. типовую ошибку № 2.

#### **Взаимозачитываются испытания на безотказность и испытания на сохраняемость**

Разработчики ПМИ иногда, с целью «оптимизации», отказываются от проведения испытаний на сохраняемость, т. к. предусмотрены «более жесткие» испытания на безотказность. В качестве обоснования может быть сделана расчётная оценка интенсивностей отказов  $\lambda$  на основе справочников для случаев наработки и хранения, а потом вычислен коэффициент «перехода» от безотказности к сохраняемости, равный их отношению.

В соответствии с ГОСТ РВ 0020–57.414–2020 данные испытания различны, т. к. в ходе них проявляются различные механизмы отказов (например, коррозия при хранении и электромиграция в течение наработки). Кроме того, в конце испытаний на сохраняемость проводят кратковременные испытания на безотказность. Поэтому их не допускается взаимозачитывать.

#### **Не предусматривается воздействие повышенной влажности среды при испытаниях на сохраняемость**

В большинстве моделей ВВФ на ЭКБ присутствует повышенная влажность среды, а значит она влияет на изделия в процессе их хранения. В этом случае испытания на сохраняемость должны предусматривать данный вид воздействия при имитации хранения.

Однако разработчики ПМИ часто игнорируют повышенную влажность с целью увеличения коэффициента ускорения. Ведь типовая камера влажности регулирует условия испытаний вплоть до 85 °С, а в камере тепла (без влажности) можно установить более высокую предельную температуру хранения ЭКБ. Тогда коэффициент ускорения, рассчитанный по закону Аррениуса, также будет выше, а испытания – короче. Однако механизмы отказов, связанные с воздействием повышенной влажности при хранении, будут исключены, что приведёт к снижению достоверности испытаний.

Отказ от влажности при испытаниях на сохраняемость должен быть обоснован условиями хранения ЭКБ и согласован с разработчиком аппаратуры. Например, это допустимо, если ЭКБ на складе хранится в шкафах сухого хранения, а в смонтированном состоянии находится в нейтральной среде (герметичный прибор) и/или под слоями лака.

Надеемся, что данная статья поможет избежать ошибок при разработке ПМИ на надёжность, благодаря чему ускорится процесс их согласования с НЦ СЭО АО «Российские космические системы».

#### **Литература**

1. ГОСТ 27.002–2015. Надёжность в технике. Термины и определения [Текст]. – Введ. 2017-03-01. – М.: Стандартинформ, 2016 – 28 с.
2. MIL-HDBK–217F military handbook. Reliability prediction of electronic equipment. Washington DC: 1991. – 205 p.
3. Батурин А. В., Григорьева Т. А., Малинин В. Г., Лоскот А. И. Использование теоремы Байеса для оценки показателей надёжности электронной компонентной базы // Электронная техника. Серия 2: Полупроводниковые приборы. – 2014. – № 1(232). – С. 35–38.
4. ГОСТ Р 57394–2017. Микросхемы интегральные и приборы полупроводниковые. Методы ускоренных испытаний на безотказность [Текст]. – Введ. 2018–01–01. – М.: Стандартинформ, 2017 – 41 с.
5. D. Peck. A Comprehensive Model for Humidity Testing Correlation. IEEE International Reliability Physics Symposium Proceedings. – 1986. – pp. 44–50.
6. ГОСТ 15150–69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды [Текст]. – Введ. 1971–01–01. – М.: Стандартинформ, 2010 – 72 с.
7. Прытков С. Ф. и др. Надёжность электрорадиоизделий. Справочник. – М.: ФГУ «22 ЦНИИ МО РФ», 2004. – 620 с.
8. ГОСТ Р 53711–2009. Изделия электронной техники. Правила приёмки [Текст]. – Введ. 2010–09–01. – М.: Стандартинформ, 2010 – 16 с.
9. Кулибаба А. Я., Суконкин М. К., Штукарев А. Ю., Юшин О. В. Методика оценки сохраняемости электронной компонентной базы на основе анализа деградации её параметров // Материалы XXIII Международной научно-практической конференции, посвящённой памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева. Красноярск: ФГБОУ ВО «СибГУ им. М. Ф. Решетнева», 2019. – С. 355–357.

**РИСКИ ПРИМЕНЕНИЯ СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ МЕР ПАРИРОВАНИЯ ОДИНОЧНЫХ ТИРИСТОРНЫХ ЭФФЕКТОВ  
В КОСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЕ**

**RISKS OF SINGLE EVENT LATCHUP CIRCUIT-BASED PROTECTION IN SPACE ELECTRONICS**

**Яненко А. В.**, к. т. н., ЦЭПЭ ИНТЕЛ НИЯУ «МИФИ»; +7 (495) 788-56-99, доб. 6943, avyanenko@mephi.ru

**Yanenko A. V.**, Ph.D., CEAE of INESP of NRNU MEPhI; +7 (495) 788-56-99, ext. 6943, avyanenko@mephi.ru

*В статье рассмотрены особенности проявления одиночного тиристорного эффекта (ТЭ) в изделиях микроэлектроники при воздействии высокоэнергетических частиц космического пространства, ограничения и риски применения схемотехнических мер парирования одиночных ТЭ в космической аппаратуре.*

*The article considers the peculiarities of single event latch-up (SEL) in microelectronic devices under space high-energy particles irradiation and shows the limitations and risks of the usage of circuit-based SEL protection in space electronics.*

**Ключевые слова:** космическая аппаратура, тяжёлые заряженные частицы, высокоэнергетические протоны, одиночный тиристорный эффект, схемотехнические меры парирования ТЭ, катастрофический отказ.

**Keywords:** space electronics, heavy ions, high-energy protons, single event latch-up, circuit-based SEL protection, catastrophic failure.

### Введение

В процессе комплектования бортовой радиоэлектронной аппаратуры (далее – БРЭА) космических аппаратов (далее – КА) иногда возникает ситуация, когда конкретное изделие микроэлектроники (микросхема) не соответствует требованиям по стойкости к воздействию факторов ионизирующего излучения космического пространства (далее – КП) в части воздействия тяжёлых заряженных частиц (далее – ТЗЧ) и высокоэнергетических протонов (далее – ВЭП) по одиночному тиристорному эффекту (далее – ТЭ). С учётом общепринятого представления об обратимом характере одиночного ТЭ (в технической документации он часто упоминается как «обратимый отказ») считается, что в случае возможности применить специализированные меры парирования, данный одиночный эффект «трансформируется» в одиночный функциональный сбой (далее – ФС) с точки зрения работы БРЭА. Наиболее распространённой и популярной мерой парирования ТЭ является отключение питания. В последнее время в средствах массовой информации появляются сообщения о создании новых отечественных устройств схемотехнической защиты (например, [1]), которые создают ложное ощущение, что проблема одиночного ТЭ при воздействии ТЗЧ и ВЭП теперь решена. В действительности, решений, подобному [2], о котором идёт речь в упомянутом выше сообщении, было предложено довольно много, в том числе и полностью интегрального исполнения, например, 1469TK025 от НПК «Технологический Центр» ([3]–[5]), а также встроенные решения, когда кристалл микросхемы защиты заключён в одном модуле с защищаемой схемой [6]. Более универсальные, с гибкой логикой работы, предлагаются зарубежными производителями, например, настраиваемая четырёхканальная микросхема слежения за токами потребления нагрузок [7].



Яненко А. В.

Все упомянутые решения относятся к схемотехническим и ориентированы на быстрое кратковременное отключение питания в случае, если ток потребления превысит заданный порог. Цель данной статьи: рассмотреть существующие ограничения при применении данного принципа парирования одиночного ТЭ, обозначить риски, которые будут при этом возникать, а также предложить направления решения возникающих проблем.

### Основная часть

Рассмотрим особенности проявления одиночных ТЭ в изделиях микроэлектроники при воздействии ТЗЧ и ВЭП. Следует сразу отметить, что существуют изделия микроэлектроники, возбуждение ТЭ в которых может приводить не к увеличению, а, наоборот, к уменьшению тока потребления. Например, в случае источников вторичного электропитания, возбуждение одиночного ТЭ в ШИМ-контроллере вызовет остановку преобразования, вследствие чего входной ток

может резко снизиться. В таких случаях применение описанных выше схем защиты неочевидно. В данной статье мы будем рассматривать случаи, когда одиночный ТЭ приводит к резкому возрастанию тока потребления.

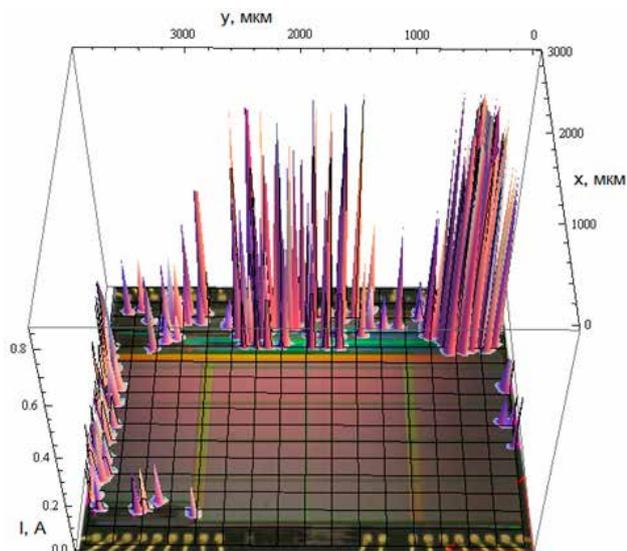


Рис. 1. Пример распределения токов потребления ( $I$ ) в состоянии ТЭ для кристалла флэш-памяти в зависимости от места расположения паразитной тиристорной структуры, которые в ходе эксперимента [9] возбуждались при помощи сфокусированного импульсного лазерного излучения

В полупроводниковом кристалле микросхемы, выполненном по КМОП технологии, имеется множество независимых тиристорных структур с разными параметрами (рис. 1).

Разные сопротивления в открытом состоянии для различных тиристорных структур обуславливают наличие распределения возможных значений тока потребления в состоянии ТЭ, которое будет индивидуально для каждой микросхемы. Естественно ожидать, что это распределение будет зависеть также и от напряжения питания, температуры и функционального режима.

Если диапазон рабочих токов потребления микросхемы находится существенно ниже распределения токов потребления в состоянии ТЭ, то применение схемотехнических решений, основанных на фиксированном пороговом значении тока срабатывания защиты вполне оправданно (рис. 2 а). В противном случае, порог срабатывания оказывается внутри распределения токов потребления в состоянии ТЭ (рис. 2 б), что приводит к некоторому количеству непарированных ТЭ, которое может изменяться при смещении распределения относительно уровня порога при изменении напряжения питания, температуры, и, возможно, при накоплении поглощённой дозы за счёт изменения параметров паразитных структур.

Существуют единичные случаи нестационарного проявления ТЭ [10], когда параметры паразитных тиристорных структур оказываются настолько чувствительными к изменениям режима работы и напряжения, что при определённых условиях ТЭ самоподавляется. При этом длительность импульса

тока может быть довольно значительной, порядка единиц миллисекунд, а иногда может переходить в режим осцилляции. Чаще всего это связано с падением напряжения на внутренних шинах кристалла микросхемы. Подобного рода особенности проявления ТЭ затрудняют применение схемотехнических решений его парирования.

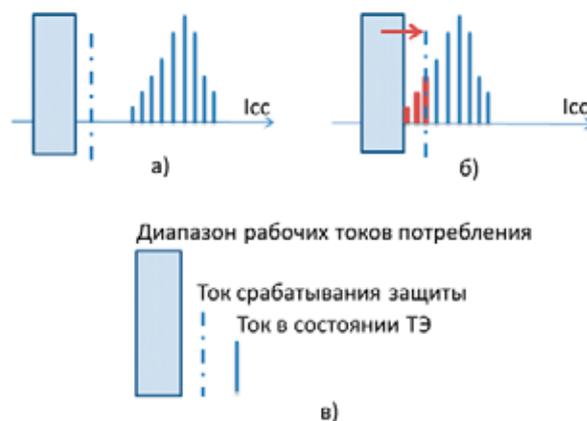


Рис. 2. Возможные распределения токов потребления ( $I_{cc}$ ) микросхемы в нормальном режиме работы и при возбуждении одиночного ТЭ:  
а) оптимальный случай, при котором ток срабатывания защиты значительно больше максимального рабочего тока потребления и меньше минимального тока потребления в состоянии ТЭ;  
б) случай незначительного прироста тока при возбуждении ТЭ;  
в) условные обозначения

Следует также учитывать, что диапазон рабочих токов потребления микросхемы может существенно зависеть от режима работы (особенно для сложно-функциональных схем), и, как правило, будет постепенно смещаться в область больших значений при увеличении уровня поглощённой дозы в процессе эксплуатации (рис. 2 б, красная стрелка). При этом надо обеспечить, чтобы порог срабатывания схемы защиты был всегда значимо выше рабочего диапазона токов потребления микросхемы. В противном случае схема защиты начнёт срабатывать не вследствие скачка тока при возбуждении одиночного ТЭ, а вследствие повышения тока при изменении режима работы. В случае кратковременных превышений режимным током порога срабатывания схемы защиты проблема решается введением задержки на срабатывание защиты, т. к. ток в состоянии ТЭ возрастает перманентно, вплоть до отключения напряжения питания.

Однако дальнейшее повышение режимного тока может привести к нарушению нормального функционирования микросхемы из-за постоянного срабатывания схемы защиты.

В некоторых случаях, для нормальной работы защищаемой микросхемы, ёмкость шины питания (т. е. ёмкость нагрузки для схемы защиты) должна быть достаточно велика, что приводит к увеличению эффективного времени срабатывания защиты. Дело в том, что недостаточно отключить защищаемую микросхему от источника питания, требуется уменьшить напряжение питания до напряжения срыва паразитной тиристорной структуры. Эффективному

спаду напряжения на шине питания могут мешать следующие факторы:

- значительная ёмкость шины питания защищаемой микросхемы;

- «подпитка» по входам защищаемой микросхемы: от цифровых сигнальных линий энергия передаётся через защитные диоды на шину питания.

Перечисленные факторы также приводят к возникновению непарированных ТЭ.

Упомянутая выше необходимость введение задержки срабатывания схемы защиты вступает в противоречие с необходимостью отключать питание при возбуждении одиночного ТЭ в кратчайшее время для предотвращения развития катастрофического отказа. Возможность возникновения непарированных ТЭ переводит проблему разработки мер парирования на системный уровень, при этом интервал времени до обнаружения состояния ТЭ и принятия решения об отключении питания может быть значителен (на практике встречались значения 60 мин и более). В обоих случаях повышение длительности выдержки микросхемы в состоянии ТЭ приводит к риску катастрофического отказа. Пути снижения риска лежат в области грамотного проектирования схем защиты. Необходимо в первую очередь обеспечить возможность динамически регулировать пороговый ток срабатывания защиты таким образом, чтобы его значение максимально отстояло от области распределения токов потребления микросхемы слева и области распределения токов ТЭ справа (рис. 2 а), а если это невозможно, то минимизировало бы количество «непарлируемых» ТЭ. Однако даже, на первый взгляд, для выверенных решений типа [6], одиночные непарированные ТЭ оказываются возможными [11] при возбуждении определённых тиристорных структур на защищаемом кристалле микросхемы.

Способность микросхемы сохранять работоспособность после выдержки в состоянии ТЭ длительное время будет зависеть от того, какая именно тиристорная структура включается, и как при этом распределяются токи по проводникам на кристалле микросхемы. Критичным параметром в данном случае является плотность тока. При превышении некоторого порогового значения происходит частичное (оплавление) или полное (разрыв) разрушение проводника или проводников [8], что может привести к полной или частичной потере работоспособности микросхемы.

С учётом того, что предельные плотности токов проводников на кристалле индивидуальны для конкретного кристалла микросхемы, способность микросхемы выдерживать состояние ТЭ некоторое время будет свойством конструкции кристалла. Ожидается, что от партии к партии, в случае неизменности конструкции кристалла, эти свойства будут сохраняться. Однако паразитный характер тиристорных структур приводит к неконтролируемому изменению их параметров в процессе производства. Сопrotивление открытой тиристорной структуры может уменьшиться и плотность тока некоторого проводника в состоянии ТЭ превысит пороговую величину.

Данное предположение было сформулировано в результате экспериментальных наблюдений различной способности выдерживать состояние ТЭ некоторое время у идентичных полупроводниковых кристаллов разных производственных партий для некоторых микросхем. Отсюда следует, что проверять на сохранение работоспособности после выдержки в состоянии ТЭ требуется каждую производственную партию микросхем.

На рис. 3 показаны результаты исследований [9] сохранения работоспособности различных микросхем после выдержки в состоянии ТЭ заданное время за 4 года.

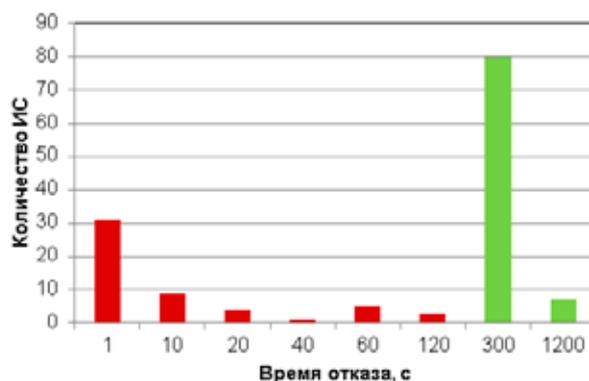


Рис. 3. Распределение количества ИС по времени отказа при исследовании сохранения работоспособности после выдержки в состоянии ТЭ.

Красный цвет – отказ ИС во время выдержки в состоянии ТЭ;  
зеленый цвет – отсутствие отказа ИС после выдержки в состоянии ТЭ

В некоторых микросхемах отказ происходил за время менее одной секунды, чуть меньшая часть отказывала при временах выдержки от 1 с до 5 мин. Подавляющая часть исследованных микросхем выдержала 5 мин и даже более в состоянии ТЭ без наступления отказа. Как правило, этот результат получен только для нескольких выбранных критичных тиристорных структур, обладающих или самым низким порогом внешнего воздействия для возбуждения одиночного ТЭ, или наибольшими токами потребления в состоянии ТЭ. Невозможность проверить микросхему на выдержку в состоянии ТЭ в течение длительного времени (до 5 мин) для всех тиристорных структур, имеющихся в кристалле, связано с их большим количеством (иногда сотни и тысячи) и ограничением по времени на проведение исследований. Только в редких случаях, когда количество чувствительных областей кристалла, при воздействии на которые возникает ТЭ, невелико (до 10–15), технически возможно проверить все тиристорные структуры. Таким образом, возрастает риск «пропустить» критичную тиристорную структуру, возбуждение которой приведёт к отказу. Так как исследования на длительную выдержку требуется делать только для непарированных ТЭ, и парированные ТЭ отключаются со скоростью работы схемы защиты, снижение таких рисков достигается уменьшением количества непарированных ТЭ методами, упомянутыми выше.

Для значительной части микросхем, отказывающих при выдержке в состоянии ТЭ, максимальное время выдержки было менее 1 с. При этом встречаются микросхемы, в которых время отказа при возникновении ТЭ составляет от десятков микросекунд до десятков миллисекунд [8]. Имеющиеся примеры показывают не только возможность таких быстрых отказов при развитии ТЭ, но и кумулятивный характер отказа. При времени парирования ТЭ около 10 мкс, отказ наступал примерно после 10 повторений ТЭ в одной и той же тиристорной структуре, при этом при более длительной выдержке признаки отказа появлялись сразу после первого воздействия (рис. 4).

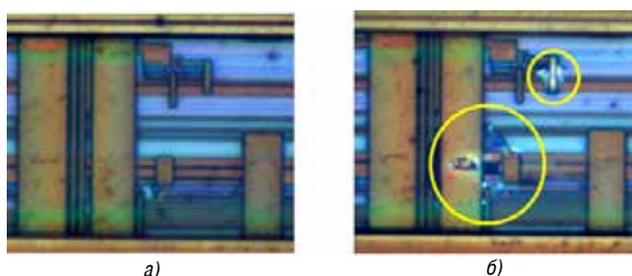


Рис. 4. Проявление отказа в ПЛИС после выдержки в состоянии ТЭ 300 мс: изображён вид участка кристалла до (а) и после (б) воздействия сфокусированным импульсным лазерным излучением

Экспериментально подтверждено [12], что одиночный ТЭ может приводить к латентным отказам. Значит, в общем случае каждый ТЭ потенциально приводит к изменениям в структуре проводников кристалла микросхемы, может повлиять на её надёжность и максимальное время наработки на отказ. К сожалению, количественные оценки изменения надёжности при возбуждении ТЭ пока невозможны. Для нивелирования риска снижения надёжности при возбуждении ТЭ единственным выходом является полный отказ от применения микросхем, подверженных ТЭ при воздействии ТЗЧ и ВЭП.

Проблема быстрого отказа при возбуждении одиночного ТЭ для некоторых микросхем требует применения быстродействующих схем парирования ТЭ, при этом серийно выпускаемые интегральные схемы защиты обеспечивают минимальное время срабатывания порядка нескольких миллисекунд и имеют ограничения сверху на ёмкость нагрузки.

В таких случаях требуется разработка специализированных индивидуальных решений для парирования ТЭ, подобных [2], особенно когда требуется времена отключения ТЭ порядка единиц микросекунд.

Снизить время реакции схемотехнической защиты на импульс тока потребления при ТЭ позволяет также дополнительный последовательный резистор в цепи питания. Во многих случаях, когда наблюдался быстрый отказ при ТЭ такой способ решения помогал предотвратить катастрофический отказ за счёт снижения амплитуды тока в первой фазе развития

ТЭ, хотя и не позволял избавиться от ТЭ как такового. Однако в некоторых маломощных микросхемах значение защитного резистора можно увеличить настолько, что возникновение ТЭ приведёт к его срыву за счёт падения на резисторе.

Подводя итоги, сформулируем кратко основные проблемы, возникающие при реализации схемотехнических мер парирования одиночных ТЭ в космической аппаратуре, которые прямо или опосредовано повышают риски возникновения катастрофического отказа.

При определённых условиях не исключено возникновение непарированных ТЭ или изначально (из-за особенностей защищаемой микросхемы: специфическое распределение токов одиночных ТЭ, «подпитка» по входам, значительная ёмкость шины питания и т. п.), или вследствие накопления поглощённой дозы и изменения параметров как защищаемой микросхемы, так и схемы защиты, что в итоге приводит к нежелательно длительной выдержке микросхемы в состоянии ТЭ. Уменьшение количества непарированных ТЭ достигается за счёт усложнения схемы защиты.

Способность выдерживать состояние ТЭ некоторое время может отличаться у идентичных кристаллов, что требует проведения проверки каждой производственной партии микросхем на сохранение работоспособности после выдержки в состоянии непарированного ТЭ.

В большинстве случаев технически невозможно проверить все тиристорные структуры кристалла на сохранение работоспособности микросхемы после выдержки в состоянии ТЭ заданное время. Максимальное количество структур ограничено выделенным временем и составляет 10–15. Для снижения возникающих рисков необходимо стремиться, чтобы количество областей на кристалле, при воздействии на которые возникает непарированный ТЭ, не превышало 10–15.

Каждый парированный ТЭ потенциально приводит к изменениям структуры проводников кристалла микросхемы, что может повлиять на её надёжность, а в некоторых случаях амплитуда тока в момент развития ТЭ достаточна для возникновения катастрофического отказа. Риск быстрого отказа при возбуждении одиночного ТЭ снижается, если ввести в цепь питания микросхемы последовательный резистор. Работоспособность такого решения может быть проверена экспериментально, при этом количественное влияние на надёжность (срок наработки на отказ) оценить пока невозможно.

#### Заключение

Рассмотренные выше особенности проявления одиночных ТЭ, наличие неопределённых рисков при применении схемотехнических мер защиты приводят к выводу, что микросхемы с возможностью возбуждения одиночного ТЭ при воздействии ТЗЧ и ВЭП КП вообще нежелательно применять в космической аппаратуре. Однако в некоторых случаях возможность замены изделия ЭКБ на более стойкий функциональный аналог может отсутствовать по причине недоступности такого аналога или по

другим причинам, связанным с организационными и техническими сложностями (закупка и сертификация новых изделий ЭКБ, переработка конструкторской документации и т. д.).

Окончательное решение о применении микросхем, чувствительных к воздействию ТЗЧ и ВЭП КП должно приниматься с учётом комплекса факторов, таких как частота возникновения одиночного ТЭ, которая определяется в условиях применения БРЭА (спектры ТЗЧ и ВЭП на конкретной орбите) и параметрами чувствительности изделия ЭКБ, подверженного одиночному ТЭ; глубина резервирования узлов БРЭА, тщательностью проработки схемотехнических решений и полнотой их экспериментальной апробации. Однако учитывая отсутствие данных о влиянии одиночных ТЭ на надёжность микросхем, такое решение пока является лишь экспертной оценкой.

### Литература

1. РКС завершили испытания радиационного щита для перспективных российских спутников [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://russianspacesystems.ru/2021/11/11/rks-zavershili-ispytaniya-radiacionnogo-shhita/>, свободный. – Загл. с экрана.

2. Петух Н. Н. Схемотехническое решение парирования тиристорного эффекта в бортовых изделиях космических аппаратов. Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2018. – Том 5, выпуск 3. – С. 45–51.

3. 1469TK025 – Микросхема защиты от тиристорного эффекта. НПК «Технологический центр», 2019. – С. 1–14. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.asic.ru/images/stories/prod/1469TK025.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

4. TCR15-460 Микросхема радиационной защиты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.asic.ru/images/stories/prod/TCR15-460.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

5. Коняхин В., Федоров Р. Микросхема защиты от тиристорного эффекта. Военные и космические технологии. – М.: НПК «Технологический Центр» № 7, 2016. – С. 69–75.

6. 7809ALP 16-Bit Latchup Protected Analog to Digital Converter, Maxwell Technologies [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.allcomponents.ru/maxwell/7809lp.htm>, свободный. – Загл. с экрана.

7. VC91200 – Radiation-Hardened Latch-Up Monitor IC [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.voragotech.com/products/vc91200>, свободный. – Загл. с экрана.

8. Тарараксин А. С., Нигматуллин Р. Р., Савченков Д. В., Соловьев С. А., Яненко А. В. Методики исследования и предотвращения развития катастрофического отказа вследствие одиночного тиристорного эффекта, V Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем МЭС-2012». // Сборник трудов. – М.: ИППМ РАН, 2012. – С. 628–633.

9. Савченков Д. В. Развитие лазерных методов испытаний интегральных схем на стойкость к воздействию отдельных ядерных частиц. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук.

10. Chumakov A. I., Bobrovsky D. V., Pechenkin A. A., Savchenkov D. V. and Sorokoumov G. S. Nonstationary Single Event Latch-up in CMOS ICs, 2018 18th European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS), 2018. – Pp. 1–4, doi: 10.1109/RADECS45761.2018.9328678.

11. Kostyuchenko D. S., Karakozov A. B., Nekrasov P. V., Pechenkin A. A., Savchenkov D. V. and Nikiforov. A. Y. Single event latchup in ICs with integrated latchup protection technology, 2017 17th European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS), 2017. – Pp. 1–3, doi: 10.1109/RADECS.2017.8696207.

12. Tsirkov A. N., Bobrovsky D. V., Pechenkin A. A., Chumakov A. I. and Sorokoumov G. S. Latent Single-Event Latchup-induced damage in Complementary Metal-Oxide-Semiconductor, 2018 18th European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems (RADECS), 2018. – Pp. 1–4, doi: 10.1109/RADECS45761.2018.9328692.

УДК 621.382

## ТРЕБОВАНИЯ К ИЗДЕЛИЯМ ЭКБ КОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПО СТОЙКОСТИ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА ПО ДОЗОВЫМ ИОНИЗАЦИОННЫМ ЭФФЕКТАМ

### TOTAL IONIZING DOSE HARDNESS LEVEL REQUIREMENTS FOR ELECTRONIC COMPONENT FOR SPACE APPLICATION

Протопопов Г. А., к. т. н., Крылов Д. Г., к. ф.-м. н., Чубунов П. А., Козюков А. Е., филиал АО «ОРКК» – «НИИ КП»; +7 (495) 517-92-03, [protopopov\\_ga@orkkniikp.ru](mailto:protopopov_ga@orkkniikp.ru)

Protopopov G. A., Ph.D. of Engineering Sciences, Krylov D. G., Ph.D. of Physics and Mathematics, Chubunov P. A., Kozyukov A. E., Branch of Joint Stock Company «United Rocket and Space Corporation» – «Institute of Space Device Engineering»; +7 (495) 517-92-03

*Рассмотрены и обоснованы уровни требований к разрабатываемым изделиям электронной компонентной базы космического применения по стойкости к воздействию ионизирующих излучений космического пространства по дозовым ионизационным эффектам.*

*Total ionizing dose level requirements for electronic components, developing for space application, are investigated and justified.*

**Ключевые слова:** электронная компонентная база (ЭКБ), радиационная стойкость, полная ионизационная доза, требования, космические применения.

**Keywords:** electronic component base (ECB), radiation hardness, total ionizing dose, requirements, space applications.



Протопопов Г. А.



Крылов Д. Г.



Чубунов П. А.



Козюков А. Е.

Создание высокопроизводительной, с минимально возможными габаритно-массовыми характеристиками радиоэлектронной аппаратуры (далее – РЭА) космических аппаратов (далее – КА) находится на переднем крае развития наукоёмких инновационных технологий.

#### Введение

Отличительной особенностью автоматических КА являются высочайшие требования по качеству и надёжности (стойкости) РЭА в условиях воздействия разнообразных факторов космического пространства, включая ионизирующие излучения космического пространства (далее – ИИ КП).

ИИ КП является доминирующим дестабилизирующим фактором космического пространства, ограничивающим срок активного существования (далее – САС) КА, что подтверждается как отечественными [1], так и зарубежными исследованиями причин отказов РЭА и сбоев в её работе [2–5]. ИИ КП включают в себя естественные радиационные пояса Земли (далее – ЕРПЗ), солнечные (далее – СКЛ) и галактические космические лучи (далее – ГКЛ). Каждая из отмеченных групп излучений характеризуется своими пространственно-временными и энергетическими распределениями потоков заряженных частиц, которые воздействуют на КА. Воздействие этих групп излучений, в конечном итоге, определяет степень нарушения работоспособности РЭА в процессе длительных САС за счёт возникновения радиационных эффектов в комплектующих изделиях электронной компонентной базы (далее – ЭКБ).

Длительное воздействие на РЭА КА заряженных частиц (в основном электронов с энергией от 0,01 МэВ и протонов с энергией от 1 МэВ) вызывает необратимые изменения в элементах и материалах РЭА КА, что приводит к параметрическим и функциональным отказам (дозовые эффекты). Отдельные заряженные частицы более высоких энергий вызывают катастрофические и обратимые отказы и сбои (одиночные эффекты). Дозовые эффекты можно разделить на ионизационные и эффекты структурных повреждений. К ионизационным относятся те эффекты, причиной которых является ионизация материала активных и/или пассивных

областей изделий ЭКБ. Как правило, эти эффекты связаны с накоплением заряда в диэлектрических слоях и увеличением плотности поверхностных состояний на границах раздела полупроводник-диэлектрик. Вследствие этого происходит изменение параметров изделия ЭКБ: изменяется пороговое напряжение МОП-транзисторов, возрастают токи утечки транзисторов в закрытом состоянии, образуются каналы утечки, связывающие различные элементы изделия ЭКБ, изменяются его временные и частотные параметры и т. п. Дозовые ионизационные эффекты начинают проявляться при относительно небольших уровнях поглощённой дозы: порядка 103–104 рад(Si).

В соответствии с государственной программой по импортозамещению в Министерство промышленности и торговли Российской Федерации ежегодно направляются единые заявки Госкорпорации «Роскосмос» по разработке новой перспективной ЭКБ, для которой необходимо задание повышенных требований по качеству и надёжности, о чём упоминалось выше. Одним из требований к изделиям ЭКБ космических применений является уровень стойкости к полной ионизационной дозе 100 крад(Si) [6]. Ниже приведено обоснование данного уровня, основанное на тех дозовых нагрузках, которые могут получить изделия ЭКБ космического применения во время штатной эксплуатации в составе РЭА КА.

Радиационные условия для КА и РЭА определяются в соответствии с требованиями отраслевого (Госкорпорация «Роскосмос») стандарта ОСТ 134–1044 [7], в котором заданы типовые орбиты КА, типовые уровни защищённости РЭА и изделий ЭКБ, типовые дифференциальные энергетические и ЛПЭ спектры заряженных частиц, а также зависимости дозовых нагрузок в зависимости от толщины эквивалентной (приведённой к алюминию в единицах г/см<sup>2</sup>) защиты. Дозовые нагрузки на ЭКБ определяются из требований к РЭА КА с помощью данных из типовых таблиц [7] или с помощью специальных программ, например, COSRAD [8].

#### Основная часть

На рис. 1 приведены суммарные (от воздействия протонов ЕРПЗ, электронов ЕРПЗ, протонов СКЛ) поглощённые дозы по ионизационным эффектам

(здесь и далее в единицах рад(*Si*)) за сферической алюминиевой защитой (рис. 2) для типовых орбит за 10 лет полёта.

На рис. 3 приведены суммарные (от воздействия протонов ЕРПЗ, электронов ЕРПЗ, протонов СКЛ) поглощённые дозы за защитой в виде полуплоскости (рис. 4) для типовых орбит за 10 лет полёта.

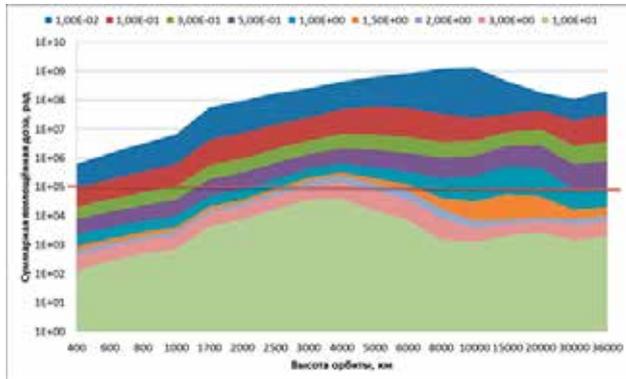


Рис. 1. Суммарные поглощённые дозы на типовых орбитах за типовой сферической защитой за время полёта 10 лет

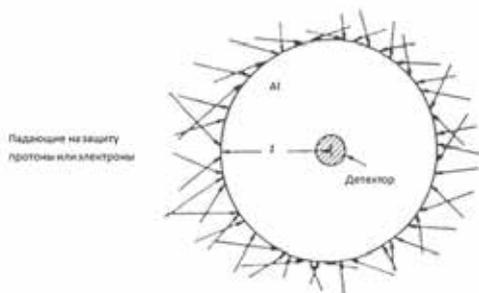


Рис. 2. Иллюстрация случая сферической защиты ЭКБ

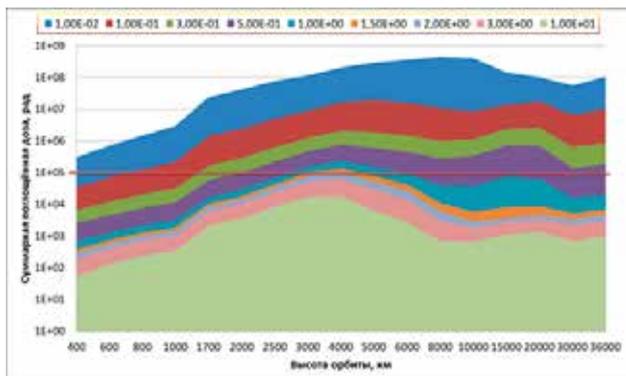


Рис. 3. Суммарные поглощённые дозы на типовых орбитах за типовой защитой в виде полуплоскости за время полёта 10 лет

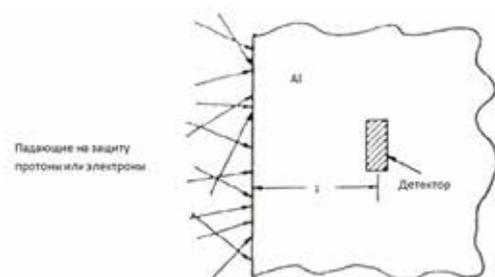


Рис. 4. Иллюстрация случая защиты ЭКБ в виде полуплоскости

На рис. 1 и 3 также отмечен уровень дозовых нагрузок 100 крад. Из данных рисунков можно сказать, что уровни дозовых нагрузок превышают уровень 100 крад при сферической защищённости для орбит:

- 2000–30000 км для защиты 1 г/см<sup>2</sup>,
- 3000–4000 км для защиты 3 г/см<sup>2</sup>.

Защита 1 г/см<sup>2</sup> (соответствует ~4 мм алюминия) является типовой для относительно слабозащищённой РЭА. Для РЭА с хорошей защищённостью, как правило, применяется защита не менее 3 г/см<sup>2</sup> (соответствует ~1 см алюминия).

Уровни дозовых нагрузок превышают уровень 100 крад при защищённости в виде полуплоскости для орбит:

- 3000–5000 км для защиты 1 г/см<sup>2</sup>,
- нет орбит для защиты 3 г/см<sup>2</sup>.

Аналогичные данные, но для САС 15 лет (максимальные САС по требованиям Госкорпорации «Роскосмос») приведены на рис. 5 и 6.

На рис. 7–10 приведены значения толщин защиты (сферической и полуплоскости) для обеспечения дозовых нагрузок 100 и 50 крад на различных типовых орбитах за время полёта 10 и 15 лет.

Следует принимать во внимание тот факт, что в настоящий момент существуют следующие тенденции при разработке КА и РЭА КА:

- облегчение конструкции КА;
- разработка негерметичных КА;
- размещение специализированной РЭА вне отсеков и на внешней поверхности КА;
- разработка малых КА.

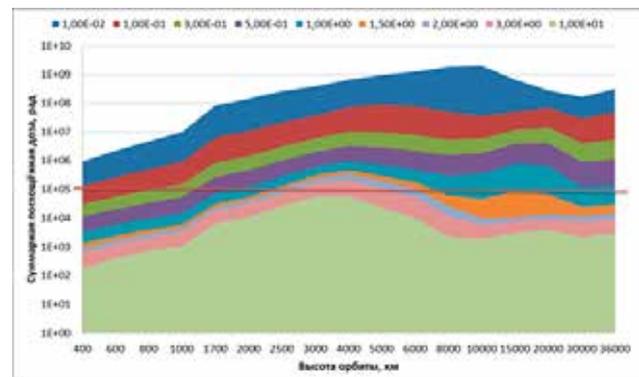


Рис. 5. Суммарные поглощённые дозы на типовых орбитах за типовой сферической защитой за время полёта 15 лет

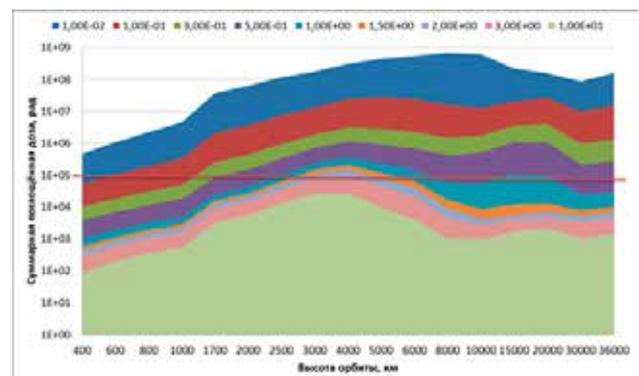


Рис. 6. Суммарные поглощённые дозы на типовых орбитах за типовой защитой в виде полуплоскости за время полёта 15 лет

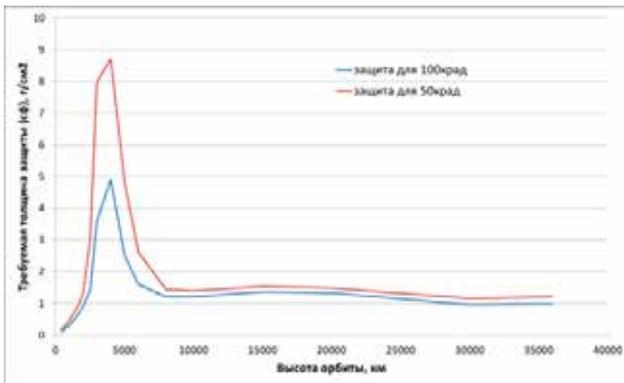


Рис. 7. Требуемая сферическая защита для обеспечения дозовых нагрузок 50 и 100 крад на различных типовых орбитах за время полёта 10 лет

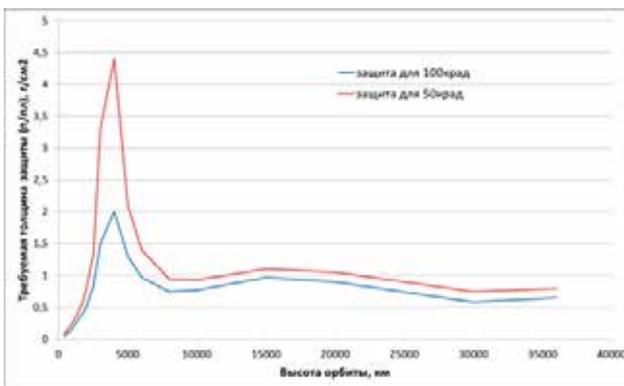


Рис. 8. Требуемая защита в виде полуплоскости для обеспечения дозовых нагрузок 50 и 100 крад на различных типовых орбитах за время полёта 10 лет

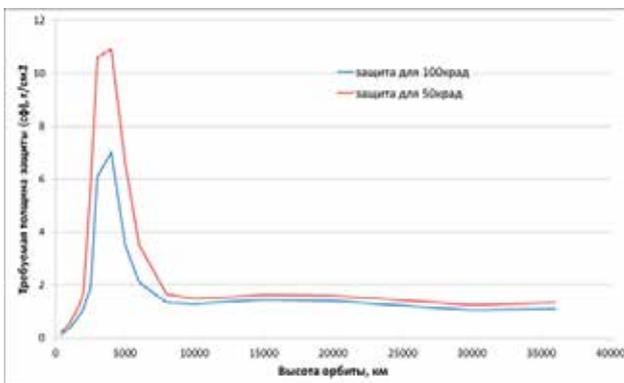


Рис. 9. Требуемая сферическая защита для обеспечения дозовых нагрузок 50 и 100 крад на различных типовых орбитах за время полёта 15 лет

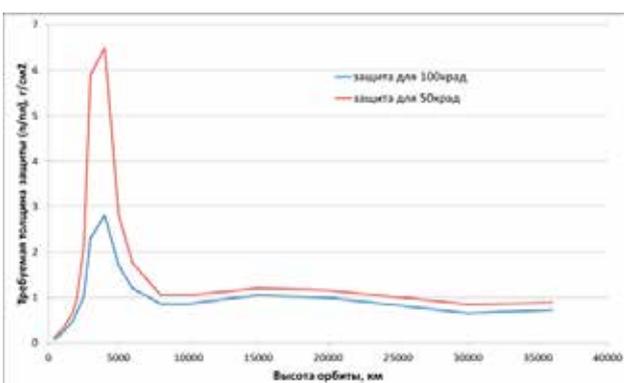


Рис. 10. Требуемая защита в виде полуплоскости для обеспечения дозовых нагрузок 50 и 100 крад на различных типовых орбитах за время полёта 15 лет

Таким образом, все приведённые выше тенденции подразумевают уменьшение массы РЭА и защищённости изделий ЭКБ.

Кроме того, в настоящее время проводится разработка моделей потоков протонов и электронов ЕРПЗ [9] (которые дают наибольший вклад в суммарную ионизационную дозу), учитывающих определённую вероятность возникновения пиковых событий. При внедрении подобных моделей в России и за рубежом возможно изменение соответствующих требований к ЭКБ по стойкости к дозовым ионизационным эффектам.

По вышеприведённым данным можно сделать вывод, что применение изделий ЭКБ в РЭА КА с уровнем стойкости не менее 100 крад возможно без использования дополнительной защиты ЭКБ и/или аппаратуры для САС 15 лет:

- на орбитах до 2000 км и геостационарной орбите (ГСО) при средней защищённости 1 г/см<sup>2</sup> (при консервативной оценке защищённости в виде сферы);
- на всех орбитах при высокой защищённости 3 г/см<sup>2</sup> (при консервативной оценке защищённости в виде сферы) или средней защищённости 1 г/см<sup>2</sup> (наилучший случай защищённости в виде полуплоскости).

Как уже упоминалось, случаи защищённости в виде сферы и полуплоскости являются двумя крайними случаями (при расположении изделия ЭКБ вблизи стенки уровень дозовых нагрузок будет близок к случаю полуплоскости, при расположении изделия ЭКБ в центре корпуса прибора уровень дозовых нагрузок будет близок к случаю сферы). Реальные уровни защищённости изделий ЭКБ находятся между этими крайними случаями.

На рис. 11 представлена статистика распределения результатов расчёта дозовых нагрузок для порядка 100 изделий ЭКБ в составе БА для различных миссий. Расчёт проводился лучевым методом с помощью специализированной программы для различных орбит (полярные (наклонение 98°), навигационные, ГСО, высокоэллиптические) и различных САС (10, 15 лет) для РЭА, функционирующей на разных орбитах за разное время.

Из данных, представленных на рис. 11, видно, что в 70 % случаев уточнённые дозовые нагрузки

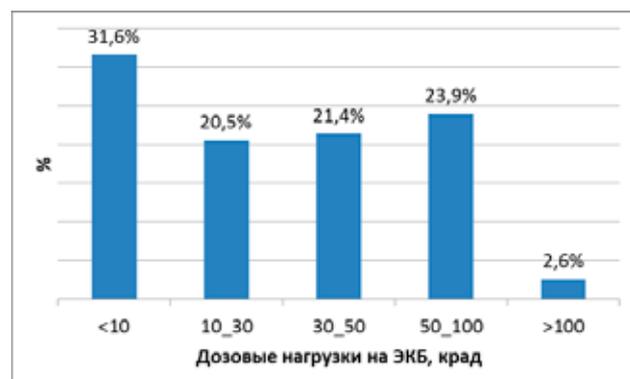


Рис. 11. Дозовые нагрузки в местах расположения ЭКБ с учётом реальной геометрии защиты РЭА и КА для различных случаев

менее уровня 50 крад, т. е. требования к изделиям ЭКБ космических применений в 100 крад являются избыточными для данных случаев. Кроме того, для малых КА, для миссий на более низких орбитах и меньшими САС доля таких изделий ЭКБ будет ещё больше.

В настоящее время РЭА КА комплектуется не только изделиями ЭКБ космического применения, но и изделиями с меньшей стойкостью. Разработчик РЭА на этапе проектирования имеет возможность снижения дозовых нагрузок путём увеличения толщины корпуса РЭА в пределах ограничений по габаритно-массовым характеристикам для обеспечения возможности применять не только радиационно-стойкие изделия ЭКБ.

Порядок применения в РЭА КА изделий ЭКБ предусматривает обязательное подтверждение их соответствия заданным требованиям стойкости. Подтверждение соответствия может быть осуществлено расчётно-экспериментальным или экспериментальным способами.

При расчётно-экспериментальном способе соответствие требованиям подтверждается по ОСТ 134–1034 [10] путём расчёта коэффициента запаса для РЭА, который равен минимальному из набора коэффициентов запаса для выбранной номенклатуры комплектующих РЭА изделий ЭКБ. Если расчётный коэффициент запаса для РЭА не менее 3, требования по стойкости выполнены. Затраты разработчика РЭА при этом минимальны. Если это условие не выполнено, то необходимо проводить контрольные испытания критичных комплектующих изделий ЭКБ для экспериментального подтверждения соответствия требованиям стойкости. Контрольные испытания критичных изделий ЭКБ проводятся за счёт разработчика РЭА, причём данные испытания необходимо повторять для каждой лётной партии ЭКБ.

Согласно рис. 11 при уровнях стойкости 30 крад нет необходимости испытывать изделия ЭКБ только в 30 % случаев. При снижении требований к разрабатываемым изделиям ЭКБ космических применений возрастёт количество случаев, когда разработчику РЭА КА необходимо проводить контрольные испытания, что может значительно повысить стоимость её разработки.

### Заключение

Порядок проведения контрольных испытаний изделий ЭКБ для подтверждения соответствия требованиям стойкости устанавливает обязательное переоблучение до нормы испытаний, связанное со следующими факторами [10]:

- учёт погрешности дозиметрии;
- учёт количества испытываемых образцов для обеспечения статистической достоверности результатов испытаний;
- учёт эффекта низкой интенсивности облучения.

Погрешность дозиметрии при проведении испытаний ЭКБ может составлять 5–20 %. В зависимости от количества образцов необходимо использовать различные коэффициенты нагрузки [10]. Значение данного коэффициента составляет для одного испытываемого образца 2,24; для

3 штук образцов – 1,74; для 40 штук – 1,00. При использовании некоторых методов испытаний, позволяющих учесть эффект низкой интенсивности, переоблучение составляет до 1,5–3 раз. Таким образом, чтобы подтвердить, например, уровень стойкости к воздействию низкоинтенсивного ИИ КП 10 крад, необходимо проводить испытания с облучением до уровня в несколько раз (~2,9–7,9) больше данного уровня (29–79 крад).

Существует значительный риск разработчика РЭА в том, что изделие ЭКБ со стойкостью 50 крад по ТУ (данные квалификационных определительных испытаний многолетней давности, его изготовитель не проводит периодических контрольных испытаний для подтверждения стойкости, существует разброс уровня стойкости от партии к партии и т. д.) не выдержит контрольных испытаний до нормы 97 крад.

Увеличение требований стойкости разрабатываемой ЭКБ свыше 100 крад представляется излишним для существующей практики эксплуатации РЭА КА и увеличивает затраты разработчика изделия ЭКБ.

Таким образом, в настоящее время для обеспечения применения вновь разрабатываемой ЭКБ практически в любой РЭА на любой орбите требование по стойкости к воздействию ИИ КП не менее 100 крад является во многих случаях обоснованным.

### Литература

1. Булгаков Н. Н., Зинченко В. Ф. Анализ причин сбоев в работе бортовой аппаратуры космических аппаратов при функционировании на геостационарной орбите с 2011 по 2018 годы // Вопросы атомной науки и техники. Сер. «Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру». – Научно-техн. сб., 2020. – Выпуск 1. – М.: АО «НИИП».
2. Н. С. Koon et al. The impact of the space environment on space systems, Aerospace technical Report TR–99 (1670). – № 1. – 1999.
3. M. Baze. Spacecraft System Failures and Anomalies Attributed to the Natural Space Environment. – 1996.
4. R. Ecoffet. «On-orbit anomalies: investigations and root cause determination», in IEEE NSREC 2011 Short Course Notes, Section IV.
5. 2015 Short Course NSREC, Section IV.
6. ГОСТ Р 58857–2020. Ракетно-космическая техника. Электронная компонентная база. Общие положения.
7. ОСТ 134–1044–2007 изм.1 Аппаратура, приборы, устройства и оборудование космических аппаратов. Методы расчёта радиационных условий на борту космических аппаратов и установления требований по стойкости радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов к воздействию заряженных частиц космического пространства естественного происхождения.
8. Кузнецов Н. В., Малышкин Ю. М., Николаева Н. И. и др. Программный комплекс COSRAD для прогнозирования радиационных условий на борту космических аппаратов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру, 2011. – № 2. – С. 72–78.

9. Ginet, G. P., T. P. O'Brien, S. L. Huston, W. R. Johnston, T. B. Guild, R. Friedel, C. D. Lindstrom, C. J. Roth, P. Whelan, R. A. Quinn, D. Madden, S. Morley and Yi-Jiun Su, «AE9, AP9 and SPM: New Models for Specifying the Trapped Energetic Particle and Space Plasma Environment». – Space Science Reviews, March 2013.

10. ОСТ 134–1034–2012 Аппаратура, приборы, устройства и оборудование космических аппаратов. Методы испытаний и оценки стойкости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов к воздействию электронного и протонного излучений космического пространства по дозовым эффектам.

УДК: 351.821/006.91

## ГОСТ РВ 0015–002–2020: ТРЕБОВАНИЯ К РЕСУРСАМ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ИЗМЕРЕНИЯ. ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ

### GOST RV 0015–002–2020: DEMAND TO MONITORING AND MEASURING RESOURCES. PROBLEMS OF DEVELOPMENT

**Степанов А. В.**, к. т. н., **Степанов В. А.**, АО НТЦ «Техтелеком–АС»; +7 (903) 564-57-27, alst1963@mail.ru

**Stepanov A. V.**, Ph. D of Engineering Sciences, **Stepanov V. A.**, Joint-Stock Company NTC «Techtelecom–АС»;

+7 (903) 564-57-27, alst1963@mail.ru

*В статье рассмотрены основные проблемы, возникшие в процессе разработки подраздела 7.1.5 «Ресурсы для мониторинга и измерения» ГОСТ РВ 0015–002–2020.*

*In this article we view the main problems that have arisen on development stage of subsection 7.1.5 «Monitoring and measuring resources» GOST RV 0015–002–2020.*

**Ключевые слова:** система менеджмента качества, ресурсы для мониторинга и измерения, обеспечение единства измерений.

**Keywords:** quality management systems, monitoring and measuring resources, measurement assurance.

#### Введение

Приказом Минпромторга России от 27.10.2021 № 91-ст с 1 июля 2022 года с правом досрочного применения в действие вводится ГОСТ РВ 0015–002–2020 «Система разработки и постановки на производство военной техники. Системы менеджмента качества. Общие требования».

#### Основная часть

Одним из наиболее проблемных вопросов в процессе разработки указанного стандарта стало формулирование дополнительных требований к подразделу 7.1.5 «Ресурсы для мониторинга и измерения». Сразу же следует заметить, что подраздел 7.1.5 проекта ГОСТ РВ 0015–002–2020 в полном объеме включает требования подраздела 7.1.5 ГОСТ Р ИСО 9001–2015 [1], а также дополнительные требования.

В процессе разработки дополнительных требований к подразделу 7.1.5 было предложено два основных подхода к их формулированию:

1) повторить содержание подраздела 7.6 «Управление оборудованием для мониторинга и измерений» действующего ГОСТ РВ 0015–002–2012 [2], актуализировав его в соответствии с действующими законодательными и нормативными актами, а также документами по стандартизации оборонной продукции (ДСОП) в области обеспечения единства измерений;

2) сделать ссылки на действующие законодательные и нормативные акты, а также ДСОП в области обеспечения единства измерений, дополнив требованиями в отношении ресурсов для мониторинга, не имеющих отношения к обеспечению единства измерений, а также изложив требования, явно завышенные в действующих ДСОП, в новых формулировках.



Степанов А. В.



Степанов В. А.

Первоначально верх одержали сторонники первого подхода, несмотря на то что к такому подходу были серьезные претензии:

– раздел 7.6 действующего ГОСТ РВ 0015–002–2012 разрабатывался в условиях, когда не существовало обобщающего ДСОП в области обеспечения единства измерений, тогда как в настоящее время он существует: ГОСТ РВ 0008–001–2013 [3]. Следует отметить важнейший момент: большинство недостатков действующего ГОСТ РВ 0015–002–2012 были устранены при разработке ГОСТ РВ 0008–001–2013, однако сторонниками первого подхода были взяты за основу именно требования ГОСТ РВ 0015–002–2012;

– в обеспечении единства измерений при выполнении государственного оборонного заказа с 1 июля 2014 года, т. е. с даты введения в действие ГОСТ РВ 0008–001–2013, сложилась крайне негативная ситуация, а именно: противоречие требованиям действующих

ДСОП (ГОСТ РВ 0015–002–2012 и ГОСТ РВ 0008–001–2013). Произошла эта ситуация по вине разработчиков ГОСТ РВ 0008–001–2013, т. к. в плане организационно-технических мероприятий по внедрению и применению вновь разработанного государственного стандарта обязательно указывается необходимость переработки стандартов, требования которых противоречат вновь разработанному стандарту. Однако сделано этого не было, и изменения в ГОСТ РВ 0015–002–2012 внесены не были.

Противоречия требований указанных выше стандартов приводили и до сих пор приводят к спорам между метрологами организаций и предприятий оборонно-промышленного комплекса, специалистами военных представительств (ВП МО РФ) и экспертами органов по сертификации систем менеджмента качества по отдельным вопросам обеспечения единства измерений. Наиболее серьезные противоречия требований ГОСТ РВ 0015–002–2012 и ГОСТ РВ 0008–001–2013 в части обеспечения единства измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

ГОСТ РВ 0015–002–2012	ГОСТ РВ 0008–001–2013	Пояснения
7.6.2 В организации должны быть разработаны, согласованы с ВП и утверждены её руководителем перечни (или перечень с отдельными разделами) следующих видов технических средств (при их наличии), относящихся к оборудованию для мониторинга измерений, с указанием их наименования, типа, заводского номера и характеристик	6.1.2 Разработка и ведение перечней должны осуществляться в соответствии с документированной процедурой предприятия в бумажной или электронной форме	Согласно ГОСТ РВ 0008–001–2013 согласование перечней технических средств, относящихся к оборудованию для мониторинга измерений, с ВП МО РФ не требуется
7.6.3 К сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений должны относиться измерения параметров военной продукции в процессе оценки её соответствия (контроля качества и испытаний) обязательным требованиям, установленным законодательством Российской Федерации и государственными заказчиками оборонного заказа	4.4 К сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений при выполнении ГОЗ относятся измерения, определённые № 102–ФЗ «Об обеспечении единства измерений», к которым предъявляются метрологические требования. Данные измерения проводятся: – при оценке соответствия военной продукции и процессов её проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, хранения, перевозки, реализации, утилизации и захоронения (далее – процессы) требованиям законодательства РФ и ГЗ ОЗ; – при других видах деятельности, перечисленных в ч. 3 ст. 1 № 102–ФЗ «Об обеспечении единства измерений», если они используются при выполнении ГОЗ	Сфера государственного регулирования обеспечения единства измерений в ГОСТ РВ 0008–001–2013 существенно расширена
7.6.5.8 Автономное программное обеспечение самостоятельной поставки, применяемое для мониторинга и измерений процессов и военной продукции, должно быть аттестовано в установленном порядке на соответствие требованиям ГОСТ Р 8.654	6.11 Программное обеспечение СИ должно соответствовать требованиям ГОСТ Р 8.654. Оценка соответствия установленным требованиям программного обеспечения, входящего в состав СИ, проводится в ходе их испытаний в целях утверждения типа или первичной калибровки (для СИ, применяемых вне СГР ОЕИ и имеющих неутверждённый тип). Оценка соответствия установленным требованиям программного обеспечения измерений, не являющегося составной частью СИ, должна осуществляться в форме его аттестации в порядке, установленном Минпромторгом России, а для СИ	Требования к программному обеспечению в ГОСТ РВ 0008–001–2013 уточнены и конкретизированы

ГОСТ РВ 0015-002-2012	ГОСТ РВ 0008-001-2013	Пояснения
	военного и специального назначения – соответствующими ФОИВ, выполняющими функции ГЗ ОЗ	
<p>7.6.7 Управление оборудованием для мониторинга и измерений применительно к отдельным его видам должно быть организовано и осуществляться в следующих формах:</p> <p>...</p> <p>е) метрологической экспертизы технической документации, содержащей (или которая должна содержать) обязательные требования к измерениям параметров процессов и военной продукции, средствам измерений, их составным частям, программному обеспечению, стандартным образцам и испытательному оборудованию, проводимой в соответствии с ГОСТ РВ 8.573</p>	<p>6.6 Организация и порядок участия предприятия в проведении обязательной метрологической экспертизы военной продукции, её проектной и конструкторской документации должны соответствовать требованиям ГОСТ РВ 8.573.</p> <p>Метрологическая экспертиза технической документации предприятия должна осуществляться в соответствии с документированной процедурой предприятия, разработанной с учётом Рекомендаций РМГ 63–2003</p>	<p>ГОСТ РВ 0008–001–2013 отделяет обязательную метрологическую экспертизу, организуемую и проводимую заказчиком, от метрологической экспертизы, организуемой и проводимой предприятием</p>
<p>7.6.10 Для решения задач организации и управления оборудованием для мониторинга и измерений и других задач метрологического обеспечения государственного оборонного заказа должна быть создана метрологическая служба или определено структурное подразделение (должностное лицо), ответственное за метрологическое обеспечение (далее – метрологическая служба).</p> <p>Структура, задачи, права и обязанности метрологической службы должны быть определены положением, утверждённым руководителем организации</p>	<p>5.6 Для организации и проведения работ по обеспечению единства измерений при выполнении ГОЗ на предприятии должна быть создана МСП или определено структурное подразделение (должностное лицо).</p> <p>5.8 Предназначение МСП, решаемые ею задачи, а также её структура и состав, права и обязанности должностных лиц должны быть определены положением о МСП, утверждённым руководителем предприятия...</p> <p>В случае назначения должностного лица, ответственного за обеспечение единства измерений, его права и обязанности должны определяться должностной инструкцией или иным документом</p>	<p>ГОСТ РВ 0008–001–2013 уточняет, что в случае определения на предприятии ответственным за организацию и проведение работ по обеспечению единства измерений не структурного подразделения, а должностного лица, для него вместо положения о метрологической службе необходимо разработать должностную инструкцию</p>
<p>7.6.14 Испытательные, поверочные и калибровочные лаборатории (подразделения) организаций, выполняющих государственный оборонный заказ, должны соответствовать требованиям к их компетентности в проведении испытаний, проверок и калибровки, установленным ГОСТ ИСО/МЭК 17025. Их соответствие указанным требованиям подтверждается при аккредитации организаций или сертификации СМК организаций</p>	<p>6.9 Калибровка СИ, применяемых при выполнении ГОЗ, осуществляется юридическими лицами, аккредитованными в установленном порядке на её выполнение или выполнение поверки СИ с соответствующей областью аккредитации.</p>	<p>ГОСТ РВ 0008–001–2013 существенно ужесточает требования к проведению калибровки средств измерений, а именно требует проведения калибровки средств измерений юридическими лицами, аккредитованными в установленном порядке.</p>

Впервые со дня введения в действие ГОСТ РВ 0008–001–2013 появился реальный шанс устранить противоречия между двумя действующими национальными стандартами, однако реализован в первой редакции проекта нового ГОСТ РВ 0015–002–2020 он не был.

Результатом реализации первого подхода стало огромное количество замечаний к подразделу

7.1.5 первой редакции проекта нового ГОСТ РВ 0015–002–2020 со стороны организаций, которым документ был выслан на рассмотрение.

Интересен тот факт, что в процессе обсуждения сводки отзывов на первую редакцию проекта ГОСТ РВ 0015–002–2020 большинство участвовавших в обсуждении специалистов, включая профессиональных, в том числе военных,

метрологов, пришли к следующему выводу: требования действующего ГОСТ РВ 0008–001–2013 сформулированы лучше как в смысловом аспекте, так и стилистически. В результате сложилась абсурдная ситуация: придерживаясь такого подхода, необходимо было бы переписать в подраздел 7.1.5 проекта ГОСТ РВ 0015–002–2020 весь ГОСТ РВ 0008–001–2013, что является категорически неправильным, т. к. нарушает один из основополагающих принципов стандартизации, а именно: «исключение дублирования требований в различных документах по стандартизации» [4].

Учитывая это, разработчиками проекта стандарта было принято решение о применении второго подхода к формулированию дополнительных требования к подразделу 7.1.5, что потребовало практически полной его переработки. В результате, несмотря на то что объём дополнительных требований к подразделу 7.1.5 в окончательной редакции относительно первой редакции проекта ГОСТ РВ 0015–002–2020 сократился почти в 2 раза, его смысловое содержание существенно выиграло!

Основные отличия проекта дополнительных требований к подразделу 7.1.5 окончательной редакции проекта ГОСТ РВ 0015–002–2020 от дополнительных требований действующего подраздела 7.6 ГОСТ РВ 0015–002–2012:

а) все дополнительные требования разделены на требования к ресурсам для мониторинга и требования к ресурсам для измерения;

б) в части ресурсов для измерения сделана ссылка на ГОСТ РВ 0008–001–2013, однако отдельные требования сформулированы иначе, в том числе:

– сделаны актуальные ссылки на вновь введенные в действие законодательные и нормативные акты, а также ДСОП:

- на [5] в части порядка проведения поверки средств измерений, а также формы знака поверки и содержания свидетельства о поверке;

- на [6] в части порядка аттестации методик (методов) измерений;

- на [7] в части организации и порядка аттестации испытательного оборудования;

- на [8] в части порядка участия организации в проведении обязательной метрологической экспертизы образцов и комплексов вооружения, военной и специальной техники, а также технической документации на них;

- на [9] в части особенностей отнесения технических средств к средствам измерений военного назначения, а также порядка испытаний средств измерений военного назначения в целях утверждения типа и порядка утверждения их типа;

- ослаблены явно завышенные в ГОСТ РВ 0008–002–2013 требования к калибровке средств измерений: в частности, исключена необходимость аккредитации организации на право проведения калибровочных работ;

- в) в части испытательных лабораторий добавлены требования, учитывающие положения постановления Правительства от 30 апреля 2019 г. № 546 [10].

Также учтены имеющиеся в ГОСТ РВ 0008–001–2013 ссылки на ГОСТ РВ 0015–002–2012 в части требований к средствам измерений, их составным частям, эталонам единиц величин, стандартным образцам и испытательному оборудованию.

### Литература

1. ГОСТ Р ИСО 9001–2015 Системы менеджмента качества. Требования.

2. ГОСТ РВ 0015–002–2012 Система разработки и постановки на производство военной техники. Системы менеджмента качества. Общие требования.

3. ГОСТ РВ 0008–001–2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение единства измерений при выполнении государственного оборонного заказа. Общие требования к организации и порядку проведения метрологических работ.

4. Положение о стандартизации в отношении оборонной продукции (товаров, работ, услуг) по государственному оборонному заказу, а также процессов и иных объектов стандартизации, связанных с такой продукцией (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2016 г. № 1567).

5. Порядок проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке (утверждён приказом Минпромторга России от 31 июля 2020 г. № 2510).

6. Порядок аттестации первичных референтных методик (методов) измерений, референтных методик (методов) измерений и методик (методов) измерений и их применения (утверждён приказом Минпромторга России от 15 декабря 2015 г. № 4091).

7. ГОСТ РВ 0008–002–2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования, применяемого при оценке соответствия оборонной продукции. Организация и порядок проведения.

8. Порядок проведения в Вооруженных Силах Российской Федерации обязательной метрологической экспертизы образцов и комплексов вооружения, военной и специальной техники и технической документации на них (утверждён приказом Министра обороны Российской Федерации от 15 января 2019 г. № 3).

9. Особенности отнесения технических средств к средствам измерений военного назначения, испытаний средств измерений военного назначения в целях утверждения типа и порядка утверждения их типа (утверждены приказом Министра обороны Российской Федерации от 02 июля 2016 г. № 402).

10. Правила аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), выполняющих работы по оценке (подтверждению) соответствия в отношении оборонной продукции (работ, услуг), поставляемой по государственному оборонному заказу (утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 30 апреля 2019 г. № 546).

**МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ КОРПОРАТИВНЫХ WI-FI СЕТЕЙ  
И ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ****METHODOLOGICAL APPROACH TO ENSURING THE SECURITY OF CORPORATE WI-FI NETWORKS  
AND THE PROSPECT OF DEVELOPMENT****Булгаков В. О.**, ООО «Виантек»; +7 (495) 120-24-36, soft@viantec.ru**Bulgakov V. O.**, LTD «Viantec»; +7 (495) 120-24-36, soft@viantec.ru

*В данной статье рассматривается вопрос о необходимости и перспективах применения систем анализа и интеллектуального подавления Wi-Fi, подходы к выбору показателей и критериев при определении эффективных направлений их совершенствования для применения на объектах (предприятиях, организациях). Описывается пример разработки и апробирования «Системы анализа и интеллектуального подавления сетей Wi-Fi «Рубин».*

*This article discusses the need and prospects for the use of Wi-Fi analysis and intelligent suppression Systems, approaches to the selection of indicators and criteria for determining effective ways to improve them for use at facilities (enterprises, organizations). An example of the development is described and the «Rubin system of analysis and intelligent suppression of Wi-Fi networks» is tested.*

**Ключевые слова:** безопасность корпоративных сетей, угроза сетям Wi-Fi, доступа к сетям Wi-Fi, факт проникновения в сети Wi-Fi, эффективное применение, Система анализа и интеллектуального подавления Wi-Fi.

**Keywords:** security of corporate networks, threat to Wi-Fi networks, access to Wi-Fi networks, the fact of penetration into Wi-Fi networks, effective application, Wi-Fi analysis and intelligent suppression system.

**Введение**

В статье рассматривается актуальный вопрос обеспечения безопасности корпоративных Wi-Fi сетей, а также возможностей оперативного информирования о включении несанкционированных мобильных точек доступа с использованием 3G/4G/LTE/5G модемов, мобильных телефонов в режиме точки доступа и способов их автоматического блокирования, без прерывания работы разрешенных сетей Wi-Fi объектов (предприятий, организаций).

Скорость передачи у технологии 3G составляет уже порядка 2 МГбит/сек, а у 4G скорость обмена данными уже увеличивается до 86 МГбит/сек. Как видно из приведённых значений, каждое из поколений практически обеспечивает возрастание скорости обмена данными. Какие же скорости обмена данными предполагается создать у 5G?

Согласно приведённым данным, разработчики планируют достичь скорости до 7 ГГбит/сек – это практически в тысячу раз больше. Стоит также заметить, что технология 5G будет не только использовать достижения предыдущих поколений, но и позволит создать новые бизнес-модели и разработать новые сценарии использования сотовой связи для развёртывания коммерческих сетей 5G во всех регионах мира [1]. Актуальность обеспечения безопасности передачи информации заключается в наличии рисков уязвимости корпоративных Wi-Fi сетей и большой вероятности несанкционированного доступа к ним, дестабилизации работы Wi-Fi сетей, а также ошибок в оценке уровня их гарантированной защищённости.

Оценивая эти риски, возникает необходимость выработки методов и способов их минимизации за счёт внедрения в разрабатываемые и создаваемые системы современные цифровые технологии, способы обработки, хранения и представления требуемой информации в ходе её применения.

В настоящее время существует некоторый ряд способов несанкционированного доступа к Wi-Fi сети, и поэтому возникает необходимость поиска, определения, разработки методов и способов решения задачи их выявления, идентификации и недопущения на современном техническом уровне.



Булгаков В. О.

Современные разработки методов и способов решения этих задач должны обеспечивать своевременное выявление угрозы, минимизировать риски, оповещать, фиксировать факт проникновения в Wi-Fi сети, блокировать и проследить последовательность вредоносных действий при инцидентах.

**Основная часть**

Анализ возможных рисков и угроз сетям Wi-Fi показывает, что они могут возникать на объектах (предприятиях, организациях) по ряду

различных причин и обстоятельств, которые следует классифицировать следующим образом:

– человеческий фактор – сами сотрудники, которые могут раздавать Wi-Fi со смартфона или 3G/4G/LTE модемов, имеющих доступ в Интернет, и тем самым иметь возможность подключать служебные компьютеры и технику к Интернет, что даёт возможность их выхода в сеть и утечки данных;

– организационно-технический фактор – точки доступа от «соседей», которые могут быть включены в нашей досягаемости и быть открытыми, не иметь шифрования, тем самым предоставляя всем желающим доступ в Интернет;

– программно-аппаратный фактор – угрозы внешних проникновений в корпоративную сеть, одним из элементов такого проникновения может быть подмена MAC-адреса на шпионском устройстве, которое выдаёт себя за точку доступа либо за клиентское устройство. В этом случае фильтрация по MAC-адресу особо не защитит от проникновения в корпоративную сеть. Работает это так, что шпионское устройство выдаёт себя за легитимного пользователя и получает доступ к ресурсам компании, работая, как легитимный пользователь;

– промышленный шпионаж – шпионская точка доступа с одноимённым именем легитимной и подменённым MAC-адресом может передать клиентам пакет деавторизации, после чего клиенты повторно подключаются к уже шпионской точке доступа, которая будет с большим уровнем сигнала. Для пользователя такой факт подмены останется незаметным, а трафик при этом может уже куда-то зеркалироваться в другое место. Соответственно, все логины и пароли в этом трафике так же будут присутствовать и могут быть восстановлены другими средствами;

– вредительская деятельность – на рынке достаточно много устройств, которые используются для съёма информации и данных, а также самодельных устройств на базе различных Wi-Fi карточек, различные готовые решения, которые могут работать автономно на батарейках или могут подключаться к какому-либо питанию, включаться в локальную сеть, иметь GSM-модули;

– хакерская деятельность – наличие различных сервисов с возможностью подбора паролей WPA/WPA2 в Интернете и ряд утилит, которые тоже доступны в свободном доступе (как, например, Kali Linux, Backtrack), и, следовательно, знающий «злоумышленник» этим легко может пользоваться для достижения своей цели;

– так же другие факторы и возникающие возможности организационного и технического характера.

Исходя из вышеизложенного, классификации рисков и угроз, в настоящее время возникли и предъявляются повышенные требования к построению сетей Wi-Fi как технического, так и организационного характера.

Анализ и классификация факторов показали, что к известным сегодня методам и способам выявления рисков и угроз несанкционированного доступа к сетям Wi-Fi в основном относится периодическое обследование всех помещений

объекта (предприятия, организации) с помощью имеющихся и недостаточно эффективных мобильных комплексов, силами не всегда квалифицированных инженеров, групп сопровождающих лиц. Такой подход связан с большим количеством различных согласований, затраченным рабочим временем и другими ресурсами. Периодические обследования не гарантируют того, что несанкционированный доступ к сетям Wi-Fi не осуществляется в другое время после проведения обследования, т. к. в этом случае актуальная информация получается только на момент обследования Wi-Fi сети, и, следовательно, обладает невысокой эффективностью.

Из этого следует, что эффективнее при постановке задач обоснования выбора актуальной системы анализа, интеллектуального подавления Wi-Fi (далее – САИП Wi-Fi) рассматривать методы, которые обеспечивают стационарную систему круглосуточным мониторингом, анализом всех сетей Wi-Fi с функцией автоматического избирательного подавления всех вновь выявленных Wi-Fi сетей, не внесённых в «белый лист».

Исходя из вышеизложенного, проведённый анализ построения и функционирования систем безопасности сетей Wi-Fi на объектах (предприятиях, организациях) показывает, что существует противоречие между возрастающими требованиями исключения несанкционированного доступа к сетям Wi-Fi и недостаточно актуальным определением момента угрозы внедрения в сеть Wi-Fi, своевременного оповещения, фиксации факта проникновения, оперативной блокировки, прослеживаемости последовательности вредоносных действий в силу присутствия человеческих, организационно-технических, программно-аппаратных и других факторов, влияющих на безопасность сетей Wi-Fi.

Разрешение данного противоречия возможно путём решения актуальной научной задачи, вербальная постановка которой может быть сформулирована следующим образом: «На основе анализа организационных и технических возможностей имеющихся средств исключения несанкционированного доступа к сетям Wi-Fi разработать отвечающую современным требованиям САИП Wi-Fi и рекомендации должностным лицам объектов (предприятий, организаций) по её эффективному применению».

На данном этапе было бы целесообразно решение актуальной задачи проводить декомпозированно двумя последовательно решаемыми задачами:

– на базе предъявляемых и возрастающих требований к безопасности корпоративных сетей Wi-Fi определить основные подходы к созданию отвечающей современным требованиям системы анализа и интеллектуального подавления Wi-Fi на объекте (предприятии, организации).

– разработать рекомендации должностным лицам объектов (предприятий, организаций) по эффективному применению САИП Wi-Fi.

Для решения первой задачи по определению основных подходов к созданию отвечающей современным требованиям САИП Wi-Fi на объекте (предприятии, организации) необходимо использовать

известные показатели и критерии. Исходя из этого, под эффективностью САИП Wi-Fi будем понимать её свойства формировать необходимый достоверный результат в конкретных условиях в течение заданного времени [2, 4, 5]. При этом для оценки эффективности будем использовать показатель, который в основном характеризует степень выполнения актуальных задач по функционированию САИП Wi-Fi.

В соответствии с результатами научных исследований [3, 4] рекомендуется оценивать сложные системы на основе раздельной оценки технической и экономической эффективности исследуемых вопросов, т. е. по комплексному показателю «эффективность – стоимость». Показатель технической эффективности представляет собой итог сравнения (например, в виде разности или отношения) технической эффективности реальной и требуемой (идеальной) систем или же итог сравнения реальной эффективности системы с требуемым её уровнем, т. е.

$$W \leq W_{mp},$$

где:  $W$  – техническая эффективность реальная;  
 $W_{mp}$  – техническая эффективность требуемая (идеальная).

Критерий экономической эффективности будем принимать как результат сравнения реальной стоимости реализации системы САИП Wi-Fi (затрат на обеспечение технической эффективности САИП Wi-Fi) с минимально возможной на текущий момент:

$$C \leq C_{min},$$

где:  $C$  – реальная стоимость;

$C_{min}$  – минимально возможная стоимость (с учётом комплектации, опций изделия на текущий момент).

Подход к оценке показателя технической эффективности может быть разбит на последовательные шаги [3], которые предполагают:

- определение назначения САИП Wi-Fi;
- определение круга задач и условий функционирования САИП Wi-Fi;
- выбор обобщённого (а при необходимости и частных) показателя эффективности САИП Wi-Fi;
- определение наиболее вероятного состояния элементов САИП Wi-Fi;
- оценку эффективности САИП Wi-Fi по выбранному показателю.

Желательно, чтобы показатель был один – обобщённый, т. к. решение задачи при наличии двух и более показателей затруднено и может привести ко всякого рода необоснованным решениям. САИП Wi-Fi с входящими в неё критериями характеризуется не только большим их количеством, но и сложностью внутренней структуры, связей между ними. Поэтому для определения эффективности САИП Wi-Fi необходимо решить ряд вопросов в структурном порядке:

- оценить качество технического состояния элементов САИП Wi-Fi, организацию её эксплуатации;
- создать оптимальную структуру САИП Wi-Fi;
- выполнить требования по оперативной гибкости и живучести САИП Wi-Fi;

– определить (ограничить) на каком-то уровне затраты на САИП Wi-Fi.

Исходя из вышеизложенного, будем принимать  $W_{mp}$  за основной показатель технической эффективности САИП Wi-Fi (показатель предельной эффективности по Накоям):

$$W_{mp} = K_{и} \cdot K_{np} \cdot K_{к},$$

где:  $K_{и}$  – использование САИП Wi-Fi (эксплуатации) в течении суток;

$K_{np}$  – производительность САИП Wi-Fi;

$K_{к}$  – качество получаемой информации.

Если проанализировать основные характеристики САИП Wi-Fi, с помощью которых можно оценивать её эффективность, то эти характеристики можно условно объединить в три группы.

Первая группа – характеристики, определяющие оперативно-тактическую эффективность системы, оценивают степень готовности (использования САИП) к выполнению стоящих перед ней задач.

Вторая группа – характеристики, определяющие техническую эффективность системы, её производительность, эксплуатационно-технические показатели.

Третья группа – характеристики, определяющие качество, получаемой от САИП Wi-Fi информации.

Выразим обобщённо сгруппированные характеристики через коэффициенты:

1) использование САИП Wi-Fi (эксплуатации) в течении суток выражается через коэффициент  $K_{и}$ :

$$K_{и} = \frac{T_{np}}{T_c},$$

где:  $T_{np}$  – время применения (или время простоя);

$T_c$  – время суток (24 часа);

2) производительность САИП Wi-Fi выражается через коэффициент производительности ( $K_{np}$ ):

$$K_{np} = HЭ \cdot K_{и},$$

где:  $HЭ$  – норма эксплуатации.

$$HЭ = \frac{D_c}{T_{mp} - T_{np}},$$

где:  $D_c$  – получаемые от САИП Wi-Fi данные (час);

$T_{mp}$  – рабочее время САИП Wi-Fi (эксплуатации);

$T_{np}$  – время простоя САИП Wi-Fi;

3) качество выражается через коэффициент качества  $K_{к}$ :

$$K_{к} = \frac{K_{дл}}{K_{инф}},$$

где:  $K_{дл}$  – количество полученной достоверной информации;

$K_{инф}$  – общее количество полученной от САИП Wi-Fi информации.

Используя этот показатель и критерии определения предельной эффективности, можно получить значения, которые и определяют преимущество между существующими и перспективными САИП Wi-Fi, а также их количественными показателями [5, 6].

Обоснование и выбор приоритетов построения перспективных САИП Wi-Fi должен осуществляться с учётом показателя и критериев экономической эффективности  $C$ , прогнозов реальной стоимости и реализации, затрат на её технической обеспечение с минимально возможным соотношением:

$$C \leq C_{min}$$

Таким образом, обоснование подхода к разработке и выбор построения эффективной САИП Wi-Fi может выглядеть следующим образом:

1. Расчёт эффективности САИП Wi-Fi по выбранному показателю предельной эффективности.
2. Определение коэффициентов готовности, производительности, качества.
3. Проведение анализа и результатов расчёта.

4. Сравнение рассчитанной эффективности предлагаемых систем и выбор наиболее эффективной. Для решая второй задачи по формированию рекомендаций должностным лицам объектов (предприятий, организаций) по эффективному применению САИП Wi-Fi не всегда представляется возможность её описания сточки зрения математической логики. Исходя из этого, целесообразно в некоторых случаях использовать вербальное описание процессов, явлений и ситуаций [5, 6].

Таким образом, при решении второй задачи необходимо акцентировать внимание на следующие обязательные организационные действия должностных лиц объектов (предприятий, организаций).

Любая созданная система будет полностью выполнять заложенные в неё возможности и функции, если её пользователи полностью реализуют указания разработчика по корректному её применению.

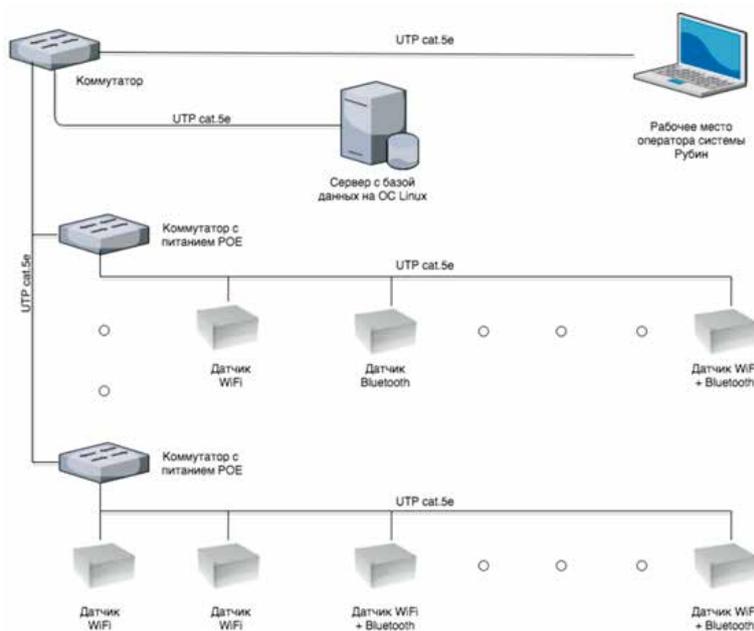


Рис. 1. ЛВС системы «Рубин»

Вопросы технической настройки работы системы решаются на этапе ввода её в эксплуатацию и при проведении приёмо-сдаточных работ, следовательно, производитель гарантирует её техническую исправность и работоспособность, полную реализацию заложенных в неё функций и опций.

Персонал объекта (предприятия, организации), обеспечивающий функционирование системы, должен быть обязательно обучен и допущен установленным порядком к её работе (сдача экзаменов, зачётов). Это является одним из обязательных организационных условий корректной эксплуатации САИП Wi-Fi, а также исключение доступа к её работе случайных сотрудников, которые могут расстроить, изменить режимы, нарушить алгоритмы работы.

Также имеет значение корректная организация должностными лицами вопросов организации технической эксплуатации САИП Wi-Fi. Все эти аспекты взаимосвязаны между собой и не могут не учитываться при организации эксплуатации САИП Wi-Fi.

Таким образом, последовательное решение двух актуальных задач по разработке и созданию САИП Wi-Fi позволит повысить эффективность её применения по сравнению с ранее применяемыми методами обеспечения безопасности корпоративных Wi-Fi сетей.

На основе применённого методического подхода, математического аппарата, рассмотренных показателей и критериев эффективности была спроектирована, разработана и апробирована «Система анализа и интеллектуального подавления сетей Wi-Fi «Рубин» (далее – система «Рубин»), которая включает в себя:

- локально-вычислительную сеть Ethernet (см. рис. 1);
- специальное программное обеспечение (см. рис. 2);
- модули анализа и подавления Wi-Fi сетей (a/b/g/n/ac);
- сервер управления системой с развёрнутой базой данных и предустановленным СПО;
- коммутаторы с функцией питания PoE.

Система «Рубин» является отечественной разработкой по сравнению с аналогами подобной системы на

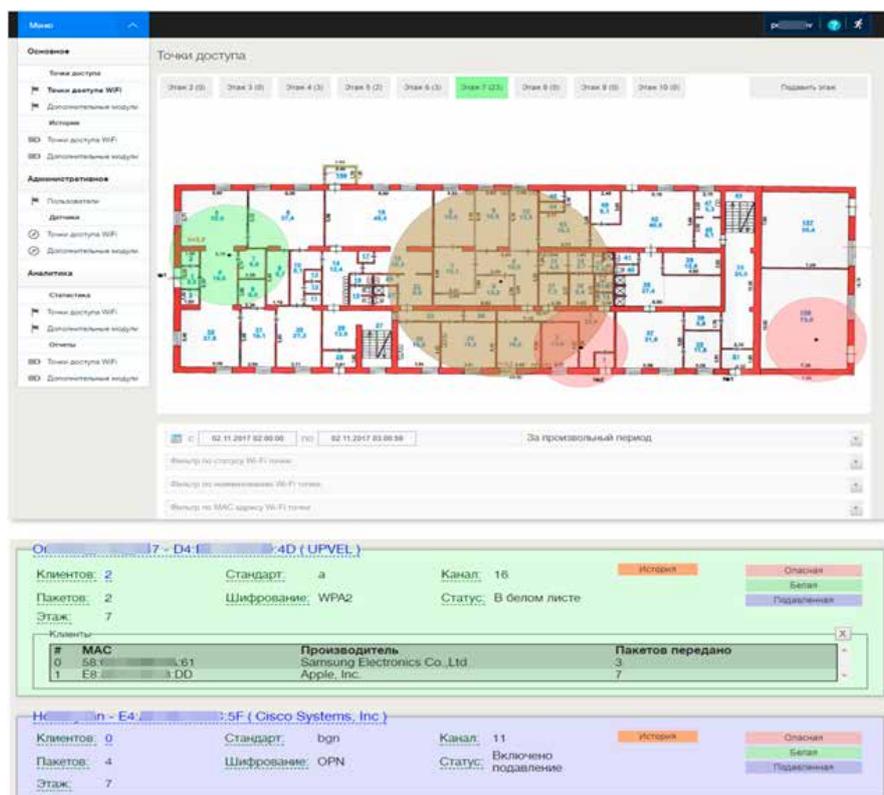


Рис. 2. Специальное программное обеспечение «Рубин»

базе оборудования компании Cisco и управляющей программы Airmagnet Enterprise, и не уступает ей, а в некоторых конфигурациях и превосходит по своим техническим и организационным возможностям.

Основным преимуществом системы «Рубин» является её открытость, т. к. это Web-платформа на базе операционной системы Linux и не имеет в своём составе скомпилированных Windows десктопных приложений, которые потенциально могут содержать в себе скрытые возможности.

Дополнительно разработанные модули системы «Рубин» позволяют интегрировать в общий интерфейс другие средства контроля (дополнительные опции), такие как имитатор базовых станций GSM и комплексы радиомониторинга и выявления других стандартов цифровой связи (Bluetooth и др.). Система постоянно развивается, пользователи системы получают поддержку непосредственно от разработчиков на русском языке и возможность быстрой интеграции своих дополнительных модулей анализа в систему под свои задачи.

В 2021 г. проведена модернизация системы «Рубин» с введением следующих дополнительных функций:

- возможность разделения реальных и рандомизированных MAC-адресов;
- определение принадлежности нескольких рандомизированных MAC-адресов одному физическому устройству с его реальным MAC-адресом;
- сигнализация о совершении атак на точки доступа предприятий man-in-the middle.

В основу принципа функционирования системы «Рубин» заложено структурированное размещение датчиков по всему контролируемому объекту. Они осуществляют круглосуточный сбор данных о всех

точках доступа Wi-Fi (*a/b/g/n/ac*), названия точек, их MAC-адреса, номера рабочих каналов и частот, количество переданных пакетов, тип производителя, их клиентах. А также запоминают это в базе данных, что позволяет видеть маршрут перемещения на карте любого Wi-Fi устройства за любой интересующий период времени работы системы. Все разрешенные точки доступа Wi-Fi заносятся в «белый лист». Появляющиеся в любой момент все другие точки доступа, MAC-адрес которых не занесён в систему, блокируются, и ни один клиент не может больше подключиться к ней. При этом все другие точки доступа и клиенты, занесённые в «белый лист», продолжают свою работу.

Система «Рубин» никак не проявляет себя в радиозфире в качестве точки доступа или Wi-Fi устройства, что делает её неуязвимой для атак, описанных выше. Каждый датчик работает в двухканальном режиме, что позволяет проводить постоянный анализ Wi-Fi сетей первым приёмным каналом и блокировать нелегальные точки вторым, не прерывая анализ. Точность определения местонахождения обнаруженного Wi-Fi устройства определяется плотностью установки стационарных датчиков на контролируемом объекте, которое определяется предварительным обследованием. В зависимости от целей, решаемых системой, можно планировать плотность установки и размещения датчиков. Например, если нужно точное определение местонахождения устройства, то нужно понимать, что любую точку пространства контролируемого объекта должны видеть минимум 3 датчика. Если точность определения не критична и может быть посекторная, то число устанавливаемых датчиков можно сократить,

тем самым уменьшив стоимость всей системы за счёт установки меньшего числа датчиков.

Важной функцией системы является возможность фиксации других событий, происходящих в Wi-Fi сетях. Например, событие перемещения точки доступа в пространстве, которая должна быть стационарной, т. к. является штатной точкой предприятия. Такое событие может произойти, если злоумышленник клонировал точку доступа, продублировал её имя и MAC-адрес, стал перемещаться по объекту. Сопоставляя информацию о перемещении по объекту интересующего Wi-Fi устройства, например, с записями видеочамер по времени, можно идентифицировать злоумышленника с нелегальным Wi-Fi устройством.

Кроме того, можно производить выборки за ночной период работы системы, когда персонал отсутствует на рабочих местах, и выявлять забытые устройства, которые могли быть оставлены с какой-либо преднамеренной целью. Или выявлять устройства, включающиеся на передачу в намеченный промежуток времени для передачи информации. Все подобные полезные фильтры и статистические отчёты постоянно добавляются в систему в результате получения обратной связи от пользователей и обновляются у всех пользователей системы в рамках регулярных обновлений.

#### **Заключение**

Таким образом, приобретаемый опыт работы с САИП Wi-Fi на объектах (предприятиях, организациях), естественно вызовет у эксплуатирующего персонала

некие вопросы и предложения по совершенствованию её работы, упрощению или оптимизации тех или иных функций системы. Все эти вопросы и предложения целесообразно обсуждать и решать с разработчиками САИП Wi-Fi и исключать при этом случаи самостоятельного, некорректного изменения порядка её функционирования.

#### **Литература**

1. Булгаков О. Ю., Зверев А. П., Булгаков В. О. Сотовая связь 5G. Взгляды России и стран НАТО на сотовую связь 5G // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения, 2021. – Выпуск 2. – с. 17–21.

2. Олейников Л. Ф. Эксплуатация и ремонт вооружения и военной техники радиотехнических войск на этапе перевооружения. – М.: Воениздат, 1990. – 216 с.

3. Научно-технический отчёт по НИР «Мицелий». – Тверь: в/ч 03444, 2000. – 92 с.

4. Назмутдинов И. С., Ведищев Д. В. Методика определения эффективности системы технического обеспечения радиотехнических устройств. – ВУНЦ ВВС «ВВА им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», 2012. – 26 с.

5. Бэндл, Дэвид Защита и безопасность в сетях в сетях Linex. Для профессионалов (+CD-ROM)/ Дэвид Бэндл. – М.: Питер 2017. – 480с.

6. Иващук, Ирина. Беспроводные сети /Ирина Иващук – М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. – 144 с.

УДК 004.622

### **ВОПРОСЫ ВЫБОРА МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ОТРАСЛИ**

### **QUESTIONS OF CHOOSING A MODEL FOR THE REPRESENTATION OF KNOWLEDGE IN THE RADIO-ELECTRONIC INDUSTRY**

**Колядин А. И.;** ФГУП «МНИИРИП»; +7 (495) 586-17-21, kolyadin@gmail.com

**Kolyadin A. I.;** FSUE «MNIIRIP»; +7 (495) 586-17-21, kolyadin@gmail.com

*Обоснована необходимость структурирования и описания отраслевых данных, которые в результате приобретают новое качество и становятся знаниями. Дано краткое описание различных классов моделей представления знаний. Проведён анализ и сравнение этих моделей и сделан вывод о целесообразности их применения для формирования отраслевых спецификаций знаний.*

*The necessity of structuring and describing industry data, which as a result acquire a new quality and become knowledge, is substantiated. A brief description of various classes of knowledge representation models is given. The analysis and comparison of these models is carried out and the conclusion is made about the expediency of their application for the formation of industry knowledge specifications.*

**Ключевые слова:** данные, пертинентность, модель представления знаний, онтология.

**Keywords:** data, persistence, knowledge representation model, ontology.

#### **Введение**

В XXI веке сформировалось отдельное научно-техническое направление: «Большие данные (Big Data)». О Big Data пишут, говорят, обсуждают и

проводят конференции. К примеру, одно из свежих высказываний: Председатель Правительства РФ Михаил Мишустин назвал «Большие данные» «новой



Калядин А. И.

нефтью, золотом и платиной» XXI века, обратив внимание на неисчерпаемость этого ресурса и его уникальное свойство давать добавленную стоимость [1]. Подобно нефти, которая стала основой экономики только тогда, когда её научились перерабатывать в бензин, керосин, мазут и пластмассы, ценность имеют лишь очищенные, преобразованные, структурированные и, что очень важно, пертинентные («Пертинентность; пертинентный: Соответствие полученной информации информационной потребности» [2]) данные. Не подготовленные соответствующим образом данные малопригодны для использования и их стоимость не больше, чем стоимость бытового мусора, производимого современной цивилизацией в огромных объёмах. Копаясь в мусорных баках, можно ведь найти и какие-либо ценности, но стоимость этого копания будет много больше стоимости найденных ценностей, не говоря уже о том, что эта работа весьма «грязная». А ведь данные производятся современной цивилизацией в огромных объёмах [3] и могут быть грязнее любого мусора [4]. Из выступления на Ассоциации национальных рекламодателей математика Клайва Хамби: «Данные похожи на нефть. Они имеют большую ценность, но в необработанном виде непригодны для использования. Как нефть нужно преобразовать в газ, пластмассы или бензин, и уже с их помощью делать что-то полезное и приносящее прибыль, так и данные необходимо переработать и проанализировать, чтобы они принесли пользу» [5]. В данной статье затронуты вопросы структурирования и описания данных в некое представление, которое используется для информационного обеспечения процессов управления и процессов разработки: радиоэлектронной аппаратуры, электронной компонентной базы и радиоэлектронных и информационных технологий [6, 7].

#### Описание проблемы и определения

Общие требования к представлению отраслевых данных можно сформулировать так:

1) представление должно быть хорошо приспособлено для извлечения пертинентных данных из их общего совокупного множества с помощью компьютерной обработки (или, как сейчас модно говорить, цифровизации);

2) представление должно облегчать человеку понимание предметной области (далее – ПрО) и извлечение пертинентных решаемой задаче данных.

Отметим, что структурированные данные, пертинентные решаемым задачам, приобретают новое качество – помогают решать эти задачи и по сути уже являются знаниями. Это непосредственно следует из некоторых определений понятия – знания [8]:

– это закономерности ПрО (принципы, связи, законы), полученные в результате практической деятельности и профессионального опыта, позволяющие специалистам ставить и решать задачи в этой области;

– это хорошо структурированные данные.

Рассмотрим, какие на сегодня имеются классы моделей (технологий) представления знаний и какие из них целесообразно использовать для описания знаний в радиоэлектронной отрасли.

Первый вопрос, который надо решить при представлении знаний, это вопрос определения состава знаний, т. е. определение того «что представлять», был рассмотрен в [9]. Второй вопрос касается того «как представлять» знания и, строго говоря, эти вопросы не являются независимыми. Вопрос «как представлять» можно разделить на две задачи:

– как организовать (структурировать) знания;

– как представить знания в выбранном формализме.

На основе представленного в [9] состава отраслевых знаний, попытаемся ответить на эти вопросы. Рассмотрим используемые для этого в настоящее время классы моделей представления знаний (по материалам [10–15]). Под моделью представления знаний понимается способ (технология) описания знаний. Существуют десятки моделей представления знаний для различных ПрО. Большинство из них может быть сведено к классам, представленным на рис. 1.



Рис. 1. Классы моделей представления знаний

#### 1. Логические модели представления знаний.

Основная идея состоит в том, чтобы рассматривать систему знаний некоторой ПрО как совокупность фактов (утверждений). Факты представляются как формулы в некоторой логической системе.

Описания ПрО, выполненные в рамках некоторой логической системы, называются логическими моделями представления знаний. Знания в логических моделях представляются в виде совокупности правильно построенных формул какой-либо формальной системы (далее – ФС), которая задаётся четвёркой вида:

$$M = \{T, P, A, B\}, \quad (3.1)$$

где:

–  $T$  – множество базовых элементов, из которых формируются все выражения ФС;

–  $P$  – множество синтаксических правил, определяющих синтаксически правильные выражения (далее – СПВ) из базовых элементов ФС;

–  $A$  – множество аксиом ФС, соответствующих СПВ, которые в рамках данной ФС априорно считаются истинными;

–  $B$  – множество правил вывода, позволяющих получать из одних СПВ другие.

В логической модели знаний можно считать, что множество  $A$  образует все единицы знаний, которые введены в базу знаний, а с помощью правил вывода из них выводятся новые производные знания. ФС представляет собой генератор порождения новых знаний, образующий множество выводимых в данной системе знаний. Это свойство логических моделей позволяет хранить в базе лишь те знания, которые образуют множество  $A$ , а все остальные знания из них получать по правилам вывода.

Простейшей логической моделью является исчисление высказываний, более сложной и популярной – исчисление предикатов.

2. Продукционные модели представления знаний.

Ядро продукционной модели представления знаний – это множество правил вывода (продукций) вида ЕСЛИ <условие>, ТО <действие>, где:

– <условие> – предложение-образец для поиска в базе данных;

– <действие> – действие, выполняемое при успешном исходе поиска.

Системы продукций – это набор правил вывода, используемый как база знаний, поэтому его называют ещё базой правил (БП). Эти продукции не изменяются при работе системы. В общем виде под продукцией понимается выражение следующего вида:

$$(I); Q_i; U_i; P_i; A_i \Rightarrow B_i; N_i$$

где:

– ядро –  $A \Rightarrow B$ . Интерпретация ядра продукции может быть различной, но чаще всего звучит так: ЕСЛИ  $A$ , ТО  $B$ , более сложные конструкции ядра допускают в правой части альтернативный выбор, например: ЕСЛИ  $A$ , ТО  $B1$ , ИНАЧЕ  $B2$ ;

–  $I$  – идентификатор продукции, с помощью которого эта продукция выделяется из всего множества продукций;

–  $Q_i$  – характеризует сферу применения продукции, определяющую класс ситуаций в ПрО, в которых возможно применение данной продукции. Разделение знаний на отдельные сферы позволяет экономить время на поиск нужных знаний;

–  $U_i$  – предусловие продукции, содержащее информацию о приоритетности, достоверности, значимости, взаимосвязи и прочих свойствах данной продукции;

–  $P_i$  – условие применимости. Обычно  $P_i$  представляет собой логическое выражение. Когда  $P_i$  принимает значение «истина» ядро активизируется. Если  $P_i$  «ложно», то ядро не может быть использовано;

–  $N_i$  описывает постусловия продукции. Это изменения, которые вносятся в систему продукций, в том случае, если продукция выполнена.

3. Фреймовое представление знаний.

Фрейм – это абстрактный образ для представления некоего стереотипа информации. В обычном диалоге значительная часть информации не выражается собеседником определенно и ясно (умалчивается). Предполагается, что оба собеседника хорошо знают тему разговора и нет смысла лишней раз описывать очевидные детали, которые являются стандартными для данной ситуации.

Фрейм – это единица представления знаний, заполненная в прошлом, детали которой могут быть изменены согласно текущей ситуации, т. е. это минимальное описание, которое ещё сохраняет сущность описываемого явления и такое, что дальнейшее её сокращение приводит к потере сущности.

Формально фрейм – это тип данных вида:

$$F = \langle N, S1, S2, S3 \rangle,$$

где:

–  $N$  – имя объекта;

–  $S1$  – множество слотов, содержащих факты, определяющие декларативную семантику фрейма;

–  $S2$  – множество слотов, обеспечивающих связи с другими фреймами (каузальные, семантические и т. д.);

–  $S3$  – множество слотов, обеспечивающих преобразования, определяющие процедурную семантику фрейма.

Модель фрейма является достаточно универсальной, т. к. существуют не только фреймы для обозначения объектов и понятий, но и другие типы:

– фреймы-объекты, используемые для обозначения объектов и понятий (лекция, собрание, заём);

– фреймы-роли (отец, мать, менеджер, кассир, клиент);

– фреймы-сценарии (собрание акционеров, празднование дня рождения);

– фреймы-ситуации (тревога, авария, рабочий режим работы устройства) и др.

4. Сетевые модели представления знаний.

Семантическая сеть – ориентированный граф, вершины которого отображают некоторые объекты, а дуги – отношения между ними. Таким образом, семантическая сеть отражает семантику ПрО в виде понятий и отношений. Объект – структура, содержащая конкретную информацию. Метки вершин имеют ссылочный характер и представляют собой некоторые имена. Метки дуг обозначают элементы множества отношений. В семантических сетях используются три основных типа объектов: понятия, события, свойства.

Понятие – это сведения об абстрактных или физических объектах ПрО.

События – это действия, которые могут внести изменения в ПрО. Результатом события является некоторое новое состояние ПрО. Можно задать желаемое (целевое) состояние ПрО и поставить задачу отыскания в семантической сети последовательности событий, приводящей к новому состоянию.

Свойства – используются для уточнения понятий или событий. Для понятий это особенности или

характеристики (цвет, размер, качество). Для событий – продолжительность, время, место.

#### 5. Онтологии.

Термин «онтология», применительно к информационным технологиям, впервые введён в употребление в 1991 г. Грубером [14] для обозначения связного фрагмента декларативного знания. Один из существенных принципов, сложившихся в этой области – это разделение декларативных (непроцедурных и императивных (процедурных) знаний и создание спецификаций декларативных знаний (онтологий). Онтология по Груберу определяется как «спецификация концептуализации» [14].

Под концептуализацией понимается процесс перехода от представления ПрО на естественном языке к точной спецификации на некотором формальном языке, ориентированном на компьютерное представление. Спецификация концептуализации трактуется как результат подобного процесса, т. е. описание множества объектов (концептов) ПрО, знаний о них и связей (отношениях) между ними. Обычно такая схема состоит из иерархической структуры данных, содержащей все классы объектов ПрО, их связи, правила (теоремы, ограничения) и определения, принятые в этой ПрО.

Онтологии состоят из экземпляров, понятий, атрибутов и отношений. Экземпляры (или индивиды) – это основные, нижеуровневые компоненты онтологии. Экземпляры могут представлять собой как физические объекты (люди, дома, планеты), так и абстрактные (числа, слова). Понятия (или классы) – это абстрактные группы, коллекции или классы объектов. Они могут включать в себя экземпляры, другие классы либо же сочетания того и другого. Объекты в онтологии могут иметь атрибуты. Каждый атрибут имеет по крайней мере имя и значение и используется для хранения информации, которая специфична для объекта и привязана к нему. Важная роль атрибутов заключается в том, чтобы определять зависимости (отношения) между объектами онтологии. Обычно отношением является атрибут, значением которого является другой объект.

Модель онтологии  $O$  задаёт тройка:

$$O = (X, R, F),$$

где:

$X$  – конечное множество концептов (понятий, терминов) ПрО, которую представляет онтология;

$R$  – конечное множество отношений между концептами;

$F$  – конечное множество функций интерпретации, заданных на концептах и/или отношениях.

Примером и частным случаем задания множества функций интерпретации  $F$  является глоссарий, составленный для множества понятий  $X$ .

Для классификации онтологий используют показатели: уровень универсальности (*generality*) и выразительность (*expressiveness*). Уровень универсальности определяет масштаб онтологии, а выразительность – детальность её описания. Онтологии могут быть представлены как спектр в зависимости от степени выразительности представления [15]:

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

2) глоссарий, представляющий список терминов с их значениями. Значения описываются в виде комментариев;

3) тезаурусы несут дополнительную семантику, определяя связи между терминами;

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

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

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

7) онтологии, включающие ограничения на область значений свойств. Значения свойств берутся из некоторого предопределённого множества (целые числа, символы алфавита) или из подмножества концептов онтологии (множество экземпляров данного класса, множество классов). Можно ввести дополнительные ограничения на то, что может заполнять свойство;

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

Как уже отмечалось, существуют и другие признаки для классификации онтологий и, соответственно, типы онтологий. Существуют, в частности, легковесные и тяжеловесные онтологии. Тяжеловесные онтологии, кроме понятий, свойств и отношений между понятиями, включают также аксиомы и ограничения. Приведённые выше суждения относительно спектра выразительности онтологий иллюстрируются на рис. 2.



Рис. 2. Спектр выразительности онтологий

#### Анализ и результаты

Анализируя вышеописанные классы моделей представления знаний можно констатировать (несколько упрощая), что логическая и продукционная модели ПрО представляют собой совокупность

логических формул. Описание ПрО множеством логических формул удобно для цифровизации, но плохо воспринимается, и не способствует формированию понимания человеком ПрО. Фреймовая, сетевая и онтологическая модели больше приспособлены для работы с ними человека и, как правило, дают наглядное представление о ПрО. Онтологии 6-й степени выразительности (рис. 2) уже содержат элементы фреймовой модели, а начиная с 7-й – элементы логической и/или производственной моделей. Можно сказать, что онтологии до 6-й степени выразительности относятся к классу сетевых моделей представления знаний, а онтологии с большей детальностью описания – к комплексным (смешанным) моделям.

Отметим, что процесс перехода от представления ПрО на естественном языке к точной спецификации на некотором формальном языке (концептуализации по Груберу) может формировать спецификации с использованием различных моделей знаний, т. к. различные аспекты знаний, накопленных в результате творческой деятельности человека, не представляется возможным описать одной моделью. Поэтому, как правило, при создании интеллектуальных систем используются комплексные (смешанные) модели представления знаний.

#### Заключение

Судя по описанным выше классам моделей представления знаний и проведённому анализу, наиболее перспективной для описания знаний отрасли является онтологическая модель, которая, являясь наглядной для человека, хорошо приспособлена для цифровизации процессов управления и разработки.

В следующей статье планируется рассмотреть вопрос «что представлять» (состав отраслевых знаний) с использованием онтологической модели. Понятно, что в ответе на данный вопрос большое значение будет иметь отраслевая специфика: концепты, связи между ними и типы задач, для решения которых планируется применять отраслевую онтологию.

#### Литература

1. Сайт «РИА Новости» – URL: <https://ria.ru/20200312/1568492492.html> (дата обращения: 29.03.2021).
2. ГОСТ 7.73–96 СИБИД. Поиск и распространение информации. Термины и определения.
3. Люди и биты. Информационный взрыв: что он несёт / Петрович Н. Т. – Москва: Знание. 1986. – 110 с.

4. Деловой общенациональный аналитический ресурс «Эксперт Online». Данные – это новый мусор – URL: <https://expert.ru/2020/08/6/dannyye---eto-novyyj-musor/>.

5. Новостной и аналитический веб-сайт, доступный на семи языках «ihodl.com» – URL: <https://ru.ihodl.com/analytics/2015-06-17/novaia-neft-xxi-veka/> (дата обращения: 29.03.2021).

6. Алексеев В. В., Боков С. И., Колядин А. И., Чупринов А. А. Задачи системы интеллектуальной поддержки проектировщика по радиоэлектронным и информационным технологиям и формализация задачи проектирования // Динамика сложных систем – XXI век, 2018. – Т 12. – № 4. – С. 42–49.

7. Алексеев В. В., Боков С. И., Колядин А. И., Чупринов А. А. Алгоритмы логического вывода в системе интеллектуальной поддержки проектировщика по радиоэлектронным и информационным технологиям // Сборник научных статей XIII Межведомственной научно-теоретической конференции «Вооружение и экономика». – Дата опубликования 30.10.2020. – С. 639–654.

8. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский – СПб: Питер, 2000. – 384 с.

9. Алексеев В. В., Боков С. И., Колядин А. И., Чупринов А. А. Вопросы организации (структурирования) информации для системы управления знаниями радиоэлектронной отрасли // Наноиндустрия, 2020 г. – № 5 (96–1). – С. 246–256.

10. Представление знаний в экспертных системах: учебное пособие / сост. В. А. Морозова, В. И. Паутов. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 120 с.

11. Гавриленко Т. В. Представление знаний о динамической предметной области методами теоретико-множественного анализа: автореф. дис. канд. техн. наук. – Сургут: СурГУ, 2004. – 22 с.

12. Боргест Н. М. / Онтология проектирования: Электронное учебное пособие – Самара: Самарский университет. 2010. 91 с.

13. Башмаков А. И., Башмаков И. А. Интеллектуальные информационные технологии: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 304 с.

14. Gruber T. R. The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases. In J. A. Allen, R. Fikes, and E. Sandewell, editors, Principles of Knowledge Representation and Reasoning – Proceedings of the Second International Conference, pp. 601–602. Morgan Kaufmann (1991).

15. Соловьев В. Д., Добров Б. В., Иванов В. В., Лукашевич Н. В. Онтологии и тезаурусы: Учеб. пособие. – Казань, Москва, 2006. – 156 с.

## ПЕРЕЧЕНЬ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В 2021 ГОДУ

Ф. И. О., название статьи	номер	страница
<b>КОМПЕТЕНТНЫЕ МНЕНИЯ</b>		
Сучков К. И., Невский А. А., Рубцов Ю. В. Развитие системных мероприятий управления качеством и надёжностью электронной компонентной базы по направлениям сбора, обработки и анализа информации с этапов производства, применения и эксплуатации	1	4
Афанасьев А. С., Боков С. И., Рубцов Ю. В. О необходимости механизма контроллинга в обеспечении управления информацией по отказам ЭКБ в РЗА широкого применения	1	7
Булгаков О. Ю., Подъяпольский С. Б. II Научно-техническая конференция в области комплекса работ по обеспечению качества и надёжности ЭКБ. Подготовка профильных специалистов. Итоги, направления и пути развития	1	10

Ф. И. О., название статьи	номер	страница
<b>КОМПЕТЕНТНЫЕ МНЕНИЯ</b>		
Подъяпольский С. Б., Томилов В. Н., Шукалова Г. С. Методика выбора отечественной ЭКБ иностранного производства, выпускаемой различными изготовителями, при её использовании при разработке радиоэлектронной аппаратуры образцов ВВСТ	2	2
Плис Н. И. Состояние и перспективы развития отечественной электронной компонентной базы	3	32
Зверев А. П., Исправникова В. А., Озроков И. А. Ферритовые фазовращатели и специальные области их применения	3	34
<b>КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТЬ</b>		
Сучков К. И., Булгаков О. Ю., Быканов В. В., Есакова М. М. Обеспечение единства измерений электрических параметров полупроводниковых материалов для микро- и нанoeлектроники	1	13
Булгаков О. Ю., Быканов В. В., Есакова М. М., Назаркина А. В. Значение метрологического обеспечения в радиоэлектронной отрасли и его совершенствование	1	16
Борисов Д. А., Невский А. А., Синельников Ю. Г. О расчёте объёма выборки при испытаниях на надёжность на этапе разработки ЭКБ	2	5
Романов Б. С., Кузнецов Е. В., Лапина Л. Б., Лебедев В. Н. Актуальные вопросы надёжности кабельных изделий для военной техники	2	8
Невский А. А., Иванов А. Д., Храменков Н. В. Мониторинг, оценка и обеспечение качества ЭКБ	2	10
Быканов В. В., Есакова М. М., Назаркина А. А. Основные метрологические проблемы разработки ЭКБ и РЗА. Пути их решения	2	13
Бондаренко А. С., Аскерко А. Н., Ковтун А. Ю. Исследование интерметаллидов сварного интерфейса золото-алюминий в полупроводниковых приборах методами сканирующей электронной микроскопии	3	11
Булгаков О. Ю., Погосов Г. С., Подъяпольский С. Б., Терехин К. О. Техническое обеспечение в испытательных лабораториях	3	15
Веденев Ю. З., Булгаков В. О. Об одном методе прогнозирования показателей сохранности электрорадиоизделий	4	24
Коршунов Г. И., Романец В. И., Зотов Н. А. Обеспечение качества радиоэлектронной продукции на предприятиях с различными типами организационных структур	4	26
<b>ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b>		
Чупринов А. А., Колядин А. И. Направления развития электронных информационных ресурсов радиоэлектронной отрасли	1	18
Булгаков О. Ю., Зверев А. П., Булгаков В. О. Взгляды России и стран НАТО на сотовую связь 5G	2	17
Андрейченко А. А., Чупринов А. А. МДМ-система, инструмент интеграции информационных ресурсов в процессе создания объединённого информационного пространства радиоэлектронной отрасли страны	2	21
Евстигнеев А. А., Гаврилов В. А. Сравнительный анализ программных средств автоматизации процесса параметрического контроля электронных компонентов	3	24
Лучинин В. В., Бохов О. С., Старцев В. А., Мандрик И. В., Аньчков М. Г., Аскерко А. Н. Каплетруйная печать – новый метод прецизионной микросборки гибридно-интегрированных систем	3	27
<b>РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ</b>		
Смирнов В. И., Сергеев В. А., Гавриков А. А. Методы и средства измерения теплового сопротивления полупроводниковых приборов и интегральных схем	1	22
Сашов А. А., Кулибаба А. Я., Булаев И. Ю. Опыт подготовки и проведения испытаний современных интегральных микросхем	1	28
Савин М. Л., Рубцов Ю. В. Унификации маловыводных рамок и использования стандартов МЭК для их применения	2	28
Завьялов Н. В., Воронцов С. В., Силаев А. В., Картанов С. А., Девяткин А. А., Грунин А. В., Тельнов А. В. Моделирующие и облучательные комплексы и установки ИЦ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»	2	31
Погосов Г. С. Вопросы обеспечения качества проведения испытаний ЭКБ. Требования к измерительной оснастке	2	33
Подъяпольский С. Б., Серадинов А. П. Противодействие поставкам контрафактной продукции. Методы проверки электронной компонентной базы на отсутствие признаков контрафакта	2	35
Сучков К. И., Колядин А. И., Чупринов А. А. Вопросы организации (структурирования) информации по техническим характеристикам электронной компонентной базы	3	2
Бумагин А. В., Лопатин А. А. Синтез компенсатора искажений частотных характеристик аналогового тракта многоканального помехоустойчивого приёмника навигационных сигналов	3	5
Серадинов А. П., Погосов Г. С., Подъяпольский С. Б., Злобин И. С. Контроль содержания паров воды в подкорпусном пространстве интегральных микросхем, многокристалльных модулей и микросборок, исследование основных проблем и путей их решения	3	8
Мальшев И. Н., Еремеев Ю. В. Подгонка сопротивления высоконагруженных СВЧ аттенуаторов в серийном производстве	4	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	4	5
Башкатов А. С., Корнилов С. В., Мещерова Д. Н. Тенденции развития радиофотоники в РФ	4	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	4	12
Донсков Р. Е., Тимофеев И. Г., Пустовойт М. В., Мардаровский А. Ф. Постановка на производство кабельной продукции нового поколения	4	16
Григасов Л. В. Представительность выборки ЭКБ иностранного производства при проведении сертификационных испытаний	4	20
<b>СЕРТИФИКАЦИЯ, АТТЕСТАЦИЯ, КВАЛИФИКАЦИЯ</b>		
Подъяпольский С. Б., Косенюк В. М. Новое в требованиях ЭС РД 010-2020	1	30
Руденко Д. А. Обучение в АНО «Электронсертифика»	2	38
Булгаков О. Ю., Подъяпольский С. Б. Одна из методик оценки качества функционирования СМК поставщиков ЭКБ	3	18
Подъяпольский С. Б., Осипова Е. М. Сертификация систем менеджмента качества как элемент комплексной системы обеспечения качества ЭКБ	3	21
Булгаков О. Ю. Методика выбора квалифицированных поставщиков электронной компонентной базы	4	31
<b>ИНФОРМАЦИЯ И АНАЛИТИКА</b>		
Зверев А. П., Булгаков В. О. Основные направления использования радиорелейной связи в МЧС России	1	32
Доцник С. Г., Ефремова А. А., Менько Е. В. Анализ документов стандартизации, регламентирующих особенности проведения испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов	1	35
Захаров А. С., Сапега А. В. Некоторые рекомендации потребителю ЭКБ ИП из практики подготовки технической экспертизы для арбитражных судов	3	38
Зверев А. П., Алексеева Т. И., Зверев В. А. Использование опор воздушных линий электропередач – наиболее эффективный способ подзарядки БПЛА	4	37



ГРУППА КОМПАНИЙ  
**СНАБЖЕНИЕ**

## ЗАЩИЩЕННЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ НОУТБУКИ НА ПРОЦЕССОРАХ INTEL и ЭЛЬБРУС

# 15" 18,5"

# O<sub>1</sub>

Соответствие группам исполнения:  
**11, 13, 110, 2.11, 2.1.2, 2.1.3, 2.3.1** по ГОСТ РВ 20.39.304  
**(1.7, 1.14 исполнения «О»** по ГОСТ В 20.39.304-76)  
с уточнениями



### Порты ввода-вывода (внешние):

Видеовыход:	VGA (1 канал), Видекамера с микрофоном (опционально)
Аудио-выход:	Выход аудио-сигнатуры (1 канал)
Аудио-вход:	Микрофонный вход (1 канал)
ЛВС Ethernet:	1 Гбит/сек (1 канал), 100 Мбит/сек (1 канал)
Порт USB:	USB 2.0 (4 канала), USB 3.0 (1 канал)
Последовательный порт (COM):	RS-232 (2 канала)
Параллельный порт:	RS-232/422/485 (1 канал)

### Модуль обеспечения информационной защищенности и контроля доступа:

АГМДЗ (опционально)

### Операционная система:

Windows 8/10, AstraLinux Special Edition,  
MCBC 3.0, MCBC 5.0, DNx 6.0, ALT Linux,  
ОС «ЭЛЬБРУС»

Процессор (ЦПУ):	Intel® Core™ i3 / i5 / i7 Эльбрус-1С+	
Диагональ экрана:	15,6"	18,5"
Масса с АКБ, кг:	10	13
Габариты, мм:	410x330x71	460x340x76
Накопитель: <b>Отечественный</b>	M.2	M.2, 2,5' объем от 128 Гб тип памяти: TLC, SLC
Оперативная память:	DDR4 до 32 Гб	
Разрешение экрана:	1920x1080	
Углы обзора:	179°	
Сенсорный ввод, антибликовое покрытие:	Опционально	
Защитное стекло:	Да	
Защита корпуса: Эксплуатация: Хранение:	IP65 минус 50°С...плюс 55°С минус 50°С...плюс 70°С	

197374, г. Санкт-Петербург, Приморский пр-кт, д. 52, корп. 4  
Тел.: +7 812 600-32-20 (доб. 100) Моб.: +7 964 342-42-37  
info@gksnab.ru