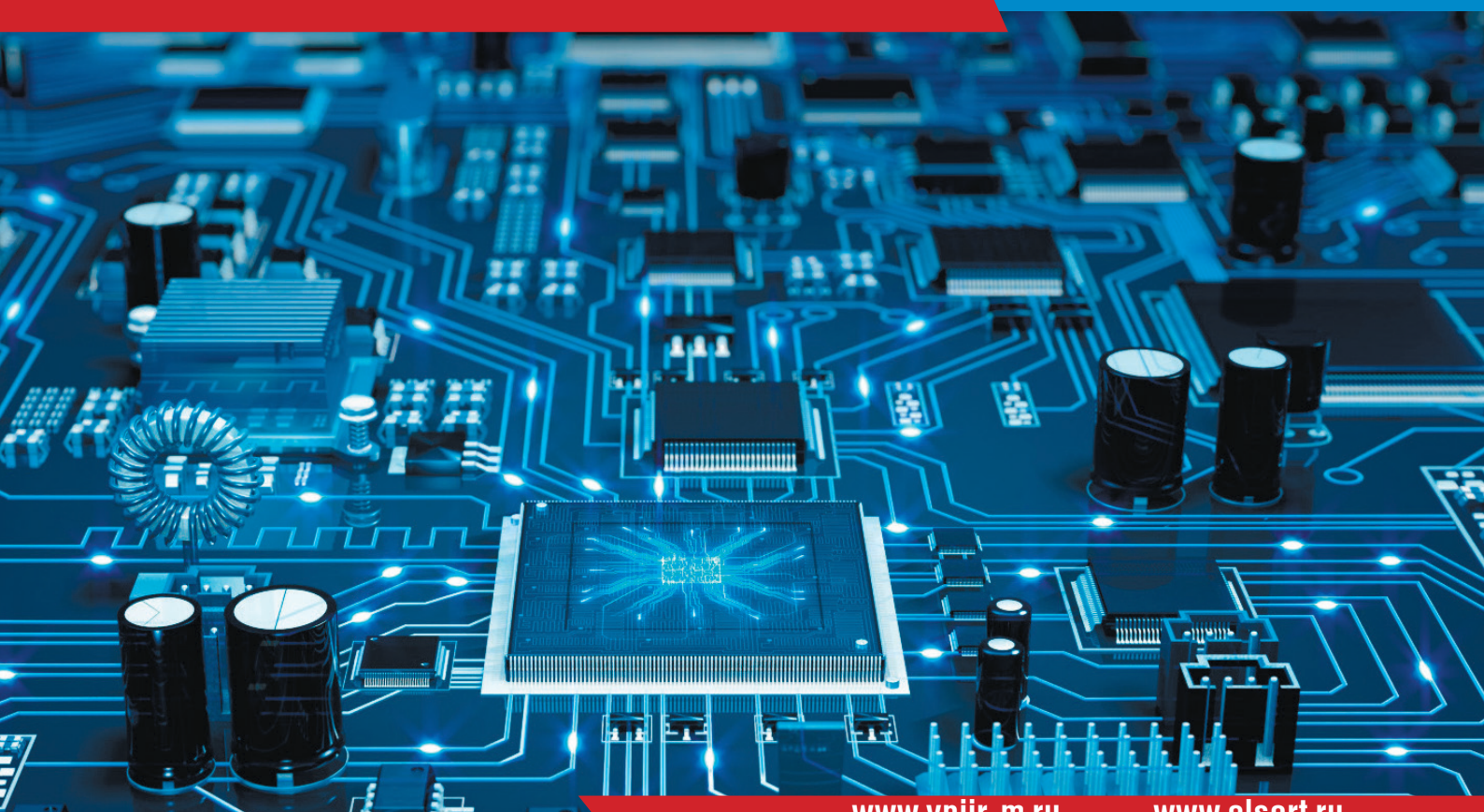


# 1 (9) | РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: 2023 | ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ



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

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

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ  
КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТЬ  
СЕРТИФИКАЦИЯ, АТТЕСТАЦИЯ, КВАЛИФИКАЦИЯ  
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



## АО «Авиаприбор»

КРЭТ  
АВИАПРИБОР

Структурное подразделение АО «Авиаприбор» - испытательная лаборатория аккредитована на проведение испытаний электронной компонентной базы иностранного и отечественного производства (ЭКБ ИП и ОП) (в том числе и сертификационных ЭКБ ИП), аппаратуры, приборов, устройств и оборудования военного назначения в рамках заявленной области компетентности:

- в Системе добровольной сертификации «Электронсерт», Аттестат компетентности № ЭС 01.061.0167-2021 от 01.12.2021;
- в Системе добровольной сертификации «Оборонный регистр», Аттестат компетентности № RU.B063.ОРИ 18-2019 от 25.11.2019 г.

Помимо сертификационных испытаний лаборатория оказывает дополнительные услуги

- периодические испытания
- предварительные испытания
- отбраковочные испытания
- испытания ЭКБ в составе изделий
- испытания для подтверждения сроков хранения
- элетротермотренировка (ЭТТ) и термотренировка (ТТ)
- экспертиза отсутствия (наличия) признаков контрафактного происхождения (перемаркировки) электронной компонентной базы иностранного производства
- ◆ разработка Программы и методики испытаний ЭКБ с согласованием в Филиале ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России
- ◆ входной контроль ЭКБ
- ◆ параметрический и функциональный контроль ЭКБ
- ◆ испытания ЭКБ на стойкость к воздействию механических и климатических факторов

Лаборатория осуществляет проведение экспертизы отсутствия (наличия) признаков контрафактного происхождения ЭКБ ИП посредством неразрушающих диагностических методов контроля.

Целью проведения экспертизы является повышение качества и надежности радиоэлектронной аппаратуры за счет снижения рисков применения в ней контрафактной продукции.

Под контрафактной продукцией понимается продукция, разработанная, изготовленная и поставленная с нарушением прав интеллектуальной собственности, в отношении которой изготовитель не несет гарантийные обязательства.

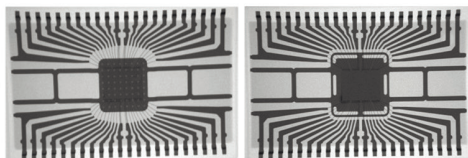
Этапы проведения экспертизы:

- анализ сопроводительной документации изделий;
- проверка разборчивости и содержания маркировки изделий;
- проверка соответствия изделий габаритным, установочным и присоединительным размерам;
- проверка массы изделий;
- визуально-оптический контроль;
- рентгеновский контроль изделий;
- контроль изделий методом акустической микроскопии.

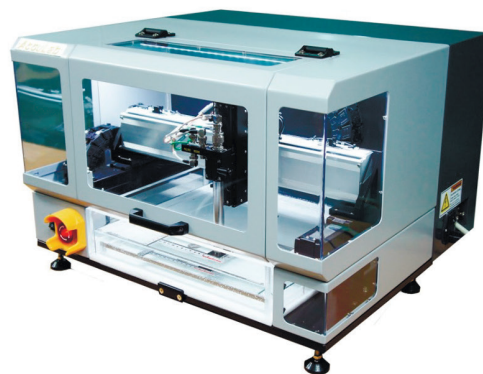
### Система автоматической инспекции компонентов DAGE ASSURE



Изображения получены с помощью системы рентгенокопии  
Изделия имеют разные типы внутренних конструкций в рамках одной производственной партии



### Акустический микроскоп для неразрушающего ультразвукового контроля SAM MINI



Изображения получены с помощью акустического микроскопа

Маркировка на корпусе указывает на исполнение industrial, элементы удаленной исходной маркировки, видимые на акустическом микроскопе под текущей маркировкой указывает на исполнение commercial

Маркировка на корпусе указывает на дату изготовления: 2015 г., элементы удаленной исходной маркировки, видимые на акустическом микроскопе под текущей маркировкой свидетельствуют о дате изготовления: 2008 г.



АО «Авиаприбор» приглашает к активному сотрудничеству и взаимодействию в области испытаний электронной компонентной базы и аппаратуры.



**Орган по сертификации систем менеджмента качества (СМК) АО «Авиаприбор»** аккредитован в Системах добровольной сертификации «Военный Регистр» (№ ВР АА.1.50.0113-2021 от 28.12.2021 г.) и «Электронсерт» (№ ЭС 06.041.001-2022 от 18.03.2022 г.) и уполномочен проводить работы по сертификации СМК организаций, осуществляющих исследования, обоснование разработки, проектирование (включая изыскания), разработку, производство, испытания, строительство, установку, монтаж, техническое и сервисное обслуживание, ремонт, хранение, утилизацию и реализацию, продукции в соответствии с полным перечнем групп ЕК 001-2020, ОК 029-2014 и ОК 034-2014, а также организаций, осуществляющих разработку, производство, испытания, закупку, хранение и поставку изделий электронной компонентной базы (ЭКБ), применительно к перечню групп ЭКБ по ЕК 001-2020 на соответствие требованиям следующим стандартам и руководящим документам: ГОСТ Р ИСО 9001-2015; ГОСТ РВ 0015-002-2012; ГОСТ РВ 0015-002-2020; стандарты СРПП ВТ; ГОСТ Р 58876-2020; РК-75; РК-88; РК-98; РК-98-КТ; РК-11; РК-11-КТ; ОСТ 134-1028-2012 с изм. «1»; КГВС «КЛИМАТ», включая ГОСТ РВ 0020-57.412-2020; КГВС «МОРОЗ»; другие НД на ЭКБ и группы однородной продукции по Перечню ЭКБ 01-2022; ЭС РД 009-2014; ЭС РД 010-2020; другие руководящие документы Системы добровольной сертификации «Электронсерт».

РО ПиР 1 (9)/2023 (основан в 2021 году)

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

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

В. В. Шпак, кандидат экономических наук  
Г. Я. Красников, президент РАН  
И. С. Иванов, генеральный директор ФГБУ «ВНИИР»  
С. И. Боков, доктор экономических наук  
А. В. Брыкин, доктор экономических наук  
Н. В. Завьялов, член-корреспондент РАН  
В. М. Исаев, доктор технических наук  
А. С. Сигов, академик РАН  
В. Б. Штешенко, 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  
Заместитель главного редактора:  
С. Б. Подъяпольский, кандидат технических наук

### Редакционная коллегия:

А. С. Афанасьев, кандидат технических наук  
В. В. Быканов, кандидат технических наук  
Л. П. Дюжакова, заместитель генерального директора  
ФГБУ «ВНИИР»  
И. Н. Кабанов, доктор технических наук  
А. И. Корчагин, кандидат технических наук  
Р. Г. Левин, кандидат физико-математических наук  
С. С. Милосердов, кандидат технических наук  
Д. А. Руденко, кандидат военных наук  
Ю. В. Рубцов, генеральный директор АО «ЦКБ «Дейтон»  
Л. А. Фёдорова, академик Академии проблем качества  
В. Н. Храменков, доктор технических наук

### Редакция:

М. А. Захарова, член Союза журналистов РФ  
Е. С. Зубарева, графический дизайнер  
Н. В. Зубарева, редактор-корректор

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

### Отпечатано:

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

Сдано в набор 01.02.2023 г., подписано к печати  
20.02.2023 г., тираж 350 экз.

Редакция не несёт ответственности за содержание авторских материалов и достоверности сведений в рекламе. Фотография на обложке — открытый источник сети Интернет.

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ

*Редька А. В., Иванов К. А., Давлятшина А. А.* Алгоритм реализации конструктивной блочной геометрии (csg) на прямоугольных параллелепипедах, удаление невидимых линий и граней в невыпуклых многогранниках, подключение прозрачности при заливке цветом.....2

*Лычагин А. Ю.* Моделирование схемотехники приёмопередающего модуля системы дистанционного зондирования Земли X-диапазона космического базирования с определением целевых характеристик .....6

*Жульмина М. Д., Душкин Ю. В., Невмывака А. Н.* О возможности применения безгалогенных полимерных материалов отечественного производства для судовых герметизированных кабелей .....10

*Воробьева Е. Г., Москалец О. Д., Шведов А. В.* Измерительные сигналы и их обработка в спектроскопической системе контроля двигательных установок летательных аппаратов и в многоальтернативной системе автоматического управления ....14

### КАЧЕСТВО И НАДЁЖНОСТЬ

*Милосердов С. С., Матюхин Д. В.* Проблемные вопросы оценки технического уровня изделий электронной компонентной базы на этапе разработки.....18

*Петров А. С.* Воздействие ионизирующих излучений на вакуумные коммутирующие устройства.....22

*Евстигнеев А. А., Самойленко С. В.* Наиболее распространённые причины возникновения ошибочных результатов измерений на примере параметрического контроля регуляторов напряжения.....25

*Журиков Р. Н., Душкин Ю. В., Невмывака А. Н.* Дополнительные аспекты оценки соответствия требованиям надёжности высоковольтных кабельных изделий.....29

### СЕРТИФИКАЦИЯ, АТТЕСТАЦИЯ, КВАЛИФИКАЦИЯ

*Булгаков О. Ю., Лепешкин А. В., Осипова Е. М.* Особенности оценки соответствия гражданской продукции в современных условиях.....34

### ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

*Колядин А. И., Невмывака А. Н., Чупринов А. А.* Информационное обеспечение задач синтеза РЭА в радиоэлектронной отрасли (часть 2).....37

«Перечень научных статей, опубликованных в журнале в 2022 году».



**АЛГОРИТМ РЕАЛИЗАЦИИ КОНСТРУКТИВНОЙ БЛОЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ (CSG) НА ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ПАРАЛЛЕЛЕПИПЕДАХ, УДАЛЕНИЕ НЕВИДИМЫХ ЛИНИЙ И ГРАНЕЙ В НЕВЫПУКЛЫХ МНОГОГРАННИКАХ, ПОДКЛЮЧЕНИЕ ПРОЗРАЧНОСТИ ПРИ ЗАЛИВКЕ ЦВЕТОМ**

**AN ALGORITHM FOR IMPLEMENTING CONSTRUCTIVE BLOCK GEOMETRY (CSG) ON RECTANGULAR PARALLELEPIPEDS, REMOVING INVISIBLE LINES AND FACES IN NON-CONVEX POLYHEDRA, ENABLING TRANSPARENCY WHEN FILLING WITH COLOR**

**Редька А. В., Иванов К. А.,** АО «НПП «Пульсар»; +7 (929) 553–51–53, redka\_av@pulsarnpp.ru; **Давлятшина А. А.,** к. ф.-м. н. **Radish A. V., Ivanov K. A.,** JSC "NPP Pulsar"; +7 (929) 553–51–53, redka\_av@pulsarnpp.ru; **Davlyatshina A. A.,** Ph. D.

**Аннотация.** В интерфейсе пакета программ [1], с использованием библиотеки OpenGL, реализована конструктивная блочная геометрия (CSG) на прямоугольных параллелепипедах, алгоритм удаления невидимых линий в каркасном представлении модели, заливка пользовательскими цветами, полупрозрачность.

**Annotation.** The interface of the software package [1], using the OpenGL library, implements constructive block geometry (CSG) on rectangular parallelepipeds, an algorithm for removing invisible lines in the frame representation of the model, filling with custom colors, translucency.

**Ключевые слова:** компьютерная графика, Z-буфер, каркасная модель, CSG, полупрозрачность, OpenGL, рендеринг, препроцессинг, оптимизация рендеринга.

**Keywords:** computer graphics, Z-buffer, wireframe model, CSG, translucency, OpenGL, rendering, preprocessing, rendering optimization.

### Введение

Во многих САПР (HFSS, Solid Work и др.) на этапе постановки задачи – создании компьютерной модели исследуемого устройства, а также на этапе визуализации полевых рассчитываемых величин, используются математические алгоритмы машинной графики. Они преследуют цель наиболее реалистично для пользователя изобразить моделируемое изделие и рассчитываемые поля физических величин. В данной статье будет рассказано о некоторых деталях программной реализации подобных алгоритмов в пакете программ [1] с использованием открытой графической библиотеки OpenGL [3, 5], многие функции которой реализованы аппаратно производителями графических ускорителей.

Предлагаемая в пакете программ [1] реализация алгоритмов компьютерной графики служит целью облегчения восприятия конечным пользователем моделей радиаторов, охлаждающих радиоэлектронное оборудование, на этапе постановки задачи, а также визуализации рассчитываемых тепловых полей на этапе анализа результатов вычисления. Кроме того, реализация подобных алгоритмов на ЭВМ представляет несомненный интерес, а результаты работы подобных алгоритмов визуализации вызывают положительные эстетические чувства.

Аналогичные, но более развитые алгоритмы визуализации, входят как составная часть многих САПР: ANSYS Icerak, ANSYS HFSS, CST Thermal and High Frequency simulations, Sonnet Suite, SolidWork.

#### 1. Визуализация полупрозрачных объектов с использованием OpenGL

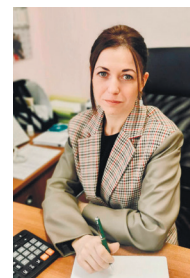
Для создания полупрозрачных объектов используется смешивание. Ведь полупрозрачный объект не полностью закрывает собой сцену, находящуюся за ним, наблюдатель как будто



Редька А. В.



Иванов К. А.



Давлятшина А. А.

смотрит через стекло или мутное стекло. Значение прозрачности  $\alpha$  в этом случае отвечает за то, насколько через стекло хорошо видно. Самые ранние разработки в этой области принадлежат Ньюэлу (Newell), август 1972 года [2]. Он предложил следующую формулу для результирующего цвета отображаемого пиксела:

$$\text{resultColor} = \text{currentColor} \times \alpha + \text{fontColor} \times (1-\alpha),$$

где:  $\text{currentColor}$  – цвет отображаемого полупрозрачного тела без учёта прозрачности;  $\text{fontColor}$  – исходный цвет того, на что накладывается наш рисуемый прозрачный объект (цвет фона);  $\alpha$  – интерполяционный коэффициент, лежащий в отрезке  $[0..1]$  – прозрачность;  $\text{resultColor}$  – результирующий цвет пиксела. Более детально теория полупрозрачности изложена в [2] стр. 410–416. Согласно спецификации [5] стр. 98–100 алгоритмическая поддержка формулы Ньюэла была в библиотеке OpenGL изначально уже в версии 1.0.

При создании [1] автор данной статьи воспользовался следующей последовательностью действий (про буфер глубины будет рассказано в п. 2): *Алгоритм прорисовки полупрозрачных объектов в OpenGL* [3]:



- шаг 1. Рисуются непрозрачные объекты в обычном режиме доступа к буферу глубины (т. е. с предварительно заданным `glEnable(GL_DEPTH_TEST)`);
- шаг 2. Включается смешивание `glEnable(GL_BLEND)`;
- шаг 3. Устанавливается запрет на изменение значений в буфере глубины `glDepthMask(GL_FALSE)`;
- шаг 4. Рисуются прозрачные объекты;
- шаг 5. Снимается запрет модификации буфера глубины `glDepthMask(GL_TRUE)`;
- шаг 6. Выключается смешивание `glDisable(GL_BLEND)`.

Результат работы алгоритма изображён на рис. 1.

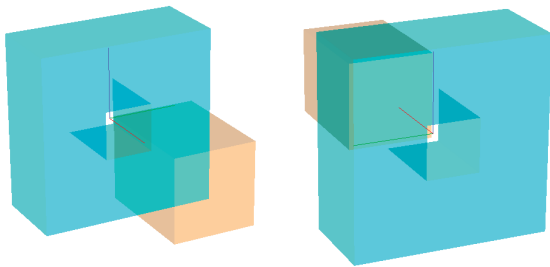


Рис. 1. Результат работы алгоритма прорисовки полупрозрачных элементов

На рис. 1 изображена сцена из двух полупрозрачных кубиков, один из которых имеет отверстие в виде кубика для двух расположений неподвижного наблюдателя (пользователя ЭВМ) относительно рассматриваемой сцены.

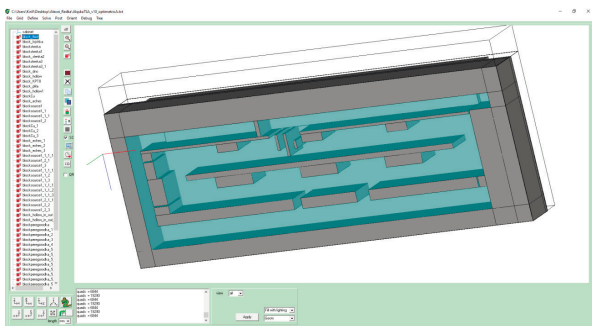


Рис. 2. Результат работы алгоритма прорисовки полупрозрачных элементов

На рис. 2 вода в радиаторе водяного охлаждения сделана полупрозрачной.

## 2. Алгоритм удаления невидимых линий для одиночного кубика с использованием Z-буфера

Под Z-буфером понимается нахождение точек сцены, ближайших к наблюдателю, и для каждого пикселя изображения отображение только таких точек.

Алгоритм Z-буфера был предложен Эдвином Катмуллом (Edwin Catmull) в мае 1975 года. По другим данным ещё раньше этот алгоритм упоминался в диссертации Вольфганга Штрассера в 1974 году. Его программная реализация с аппаратным ускорением стала доступна в библиотеке OpenGL, согласно функциональной спецификации [5] с. 97, начиная с первой же версии, вышедшей в июле 1994 года.

Суть алгоритма с примером доступно изложена в [2] на с. 321–329. Покажем, как применить данный алгоритм для простейшей сцены прорисовки кубика с использованием OpenGL.

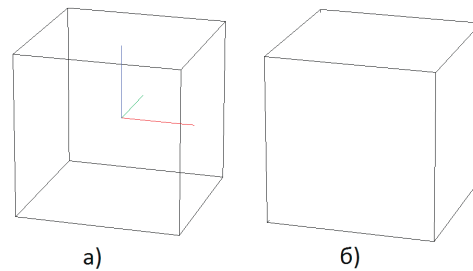


Рис. 3. Визуализация кубика:  
а) прорисовка всех линий;

б) результат работы алгоритма прорисовки каркасной модели с удалением невидимых рёбер

Алгоритм прорисовки каркасной модели кубика с удалением невидимых рёбер:

- шаг 1. Включить Z-буфер `glEnable(GL_DEPTH_TEST)`, (инициализация Z-буфера и очистка Z-буфера) и залить всю сцену цветом фона;
- шаг 2. В произвольной последовательности граней куба выводить на прорисовку: текущую грань куба, залитую цветом фона (белым), и потом её рёбра чёрного цвета, но так, чтобы рёбра отстояли от периметра грани во внешнюю сторону на величину 1 % от характерного линейного размера текущей грани (качество прорисовки линий зависит от этой константы). И так в цикле по всем граням для каждой грани и её рёбер в произвольной последовательности порядка обхода граней;
- шаг 3. Выключить Z-буфер.

Прорисовка граней цветом фона, а также её рёбер чёрным цветом, отличным от цвета фона, производится для каждого пикселя результирующего изображения с учётом избирательности, на основе значений в Z-буфере. Прорисовка граней цветом фона организована для того чтобы удалить те из рёбер куба, которые экранируются текущей гранью.

Результат работы данного алгоритма проиллюстрирован на рис. 3 (б).

## 3. Реализация CSG на прямоугольных параллелепипедах

CSG (Constructiv Solid Geometry), или, по-русски, конструктивная блочная геометрия реализована во многих САПР, например, таких как Solid Work. Здесь рассматривается сильно упрощённая реализация, реализованная в [1].

CSG главным образом необходима для визуализации отверстий в сценах, через которые видны другие элементы сцены. Данная упрощённая реализация основана на том, что как сами объекты (solid), так и отверстия (hollow) есть та или иная комбинация прямоугольных параллелепипедов (это верно только для реализованного пакета программ [1]). Таким образом, приходим к алгоритму реализации CSG.

Алгоритм реализации CSG в пакете программ [1]:

- шаг 1. Завести три одномерных вещественно-значных массива (по одному для каждого координатного направления);

– шаг 2. Заносить в каждый из массивов уникальные позиции начала и конца каждого как solid, так и hollow блока для данного координатного направления;

– шаг 3. На основе трёх полученных массивов, уникальные значения в каждом из которых предварительно отсортированы по возрастанию пирамидальной сортировкой, сформировать новое solid множество, не содержащее hollow объектов. Свойства нового solid множества таковы, что суммарный объём занимаемый новыми solid-блоками остался неизменным, но зато возросло общее число solid элементов и каждый из новых solid элементов, возможно, составляет только часть размера порождающего его solid элемента;

– шаг 4. Прорисовывать только новое solid множество, причём для экономии ресурсов графического ускорителя строго внутренние грани (общие для двух контактирующих по данной грани solid объектов одинакового материала) прорисовке не подвергаются. Также, из оставшихся граней можно прорисовывать лишь те, внешняя нормаль к которым из центра текущего solid элемента составляет острый угол с вектором, начало которого находится в центре грани, а конец в глазу наблюдателя данной сцены (пользователя ЭВМ, смотрящего на монитор). Для того чтобы осуществить последнее, программисту достаточно включить в коде `glEnable(GL_CULL_FACE)` и все не лицевые грани прорисовываться не будут, т. е. не надо программировать вычисление скалярных произведений самостоятельно для определения того – острый угол или тупой.

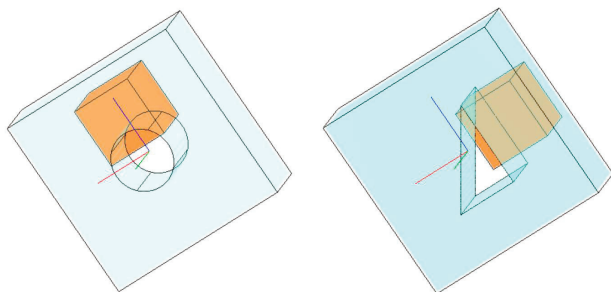


Рис. 4. Отрисовка круглого и треугольного отверстий, реализованным алгоритмом CSG

Также скорость отрисовки зависит от числа прямоугольных граней подлежащих отрисовке. Для сокращения числа прямоугольных граней применяется слияние некоторых прямоугольников нового solid множества, прошедших проверку на одинаковость условий отрисовки, в новые прямоугольники большей площади. При объединении алгоритм ищет кандидата-контейнера с максимальной площадью, в который будут объединяться исходные прямоугольники (оптимизация). Первоначальные мелкие прямоугольники, вошедшие в объединение, делаются неактивными при отрисовке и рисуется только результирующий прямоугольник большей площади.

С помощью данного алгоритма было реализовано прямоугольное отверстие, изображенное на рис. 1, через которое виден кусок сцены, расположенный за отверстием.

Объекты сцен отличные от прямой прямоугольной призмы, например, цилиндр или плоский полигон, представляют собой набор кубических ячеек, так чтобы криволинейная граница, например, цилиндра, аппроксимировалась ступеньками. В результате получается большее число кубических ячеек, но алгоритм отрисовки не претерпевает изменений. Результаты визуализации сцен с объектами в виде цилиндров или полигонов представлены на рис. 4 и 5.

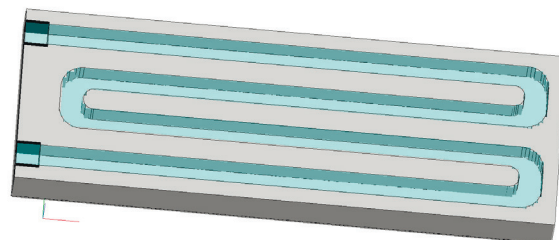


Рис. 5. Отрисовка прозрачного тракта воды в радиаторе водяного охлаждения

Также можно приписывать цвет не телам, из которых состоит модель для расчёта, а узлам сетки, в которых находилась рассчитываемая величина (температура). Это даёт возможность отобразить на поверхности модели поле температур (см. рис. 6).

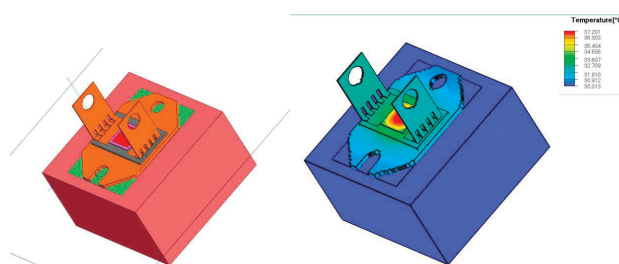


Рис. 6. Диод и поле температур на его поверхности

#### 4. Модификация алгоритма удаления невидимых линий из п. 2 с учётом реализованной CSG

Так как рёбер в преобразованном solid множестве (из-за CSG) стало значительно больше, то все их прорисовывать ненужно. В [1] применяется следующий избирательный алгоритм.

*Модификация алгоритма удаления невидимых линий п. 2:*

– шаг 1. Для преобразованного solid множества из п. 3 завести для каждого ребра каждой грани булев индикатор, начальное значение которого задать OFF\_VISIBLE (невидимый);

– шаг 2. Просканировать рёбра исходного solid и hollow множеств из п.3. Если ребро из шага 1 данного алгоритма является частью текущего ребра исходного solid и hollow множеств при сканировании (организован перебор в двойном цикле), то соответствующий индикатор сделать ON\_VISIBLE (видимый);

– шаг 3. Запустить алгоритм п. 2 применительно к каждому кубу в преобразованном solid множестве из п. 3 с учётом того, что ребра на гранях рисуются



чёрным цветом только в случае включённого индикатора, принимающего значение ON\_VISIBLE. Грани, залитые цветом фона, рисуются обязательным образом в любом случае (это необходимо для стирания невидимых рёбер закрываемых данной гранью) и конечно до момента прорисовки рёбер на данной грани, если они помечены ON\_VISIBLE.

Результат работы данной модификации представлен на рис. 7.

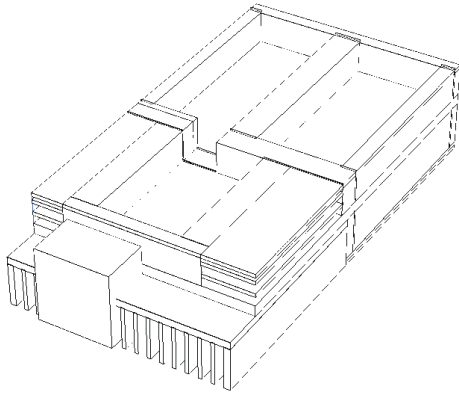


Рис. 7. Изображение радиатора воздушного охлаждения из статьи [4] со снятой крышкой, полученное в программе [1] путём применения алгоритма удаления невидимых линий

Приведём ещё несколько примеров работы итогового алгоритма отрисовки.

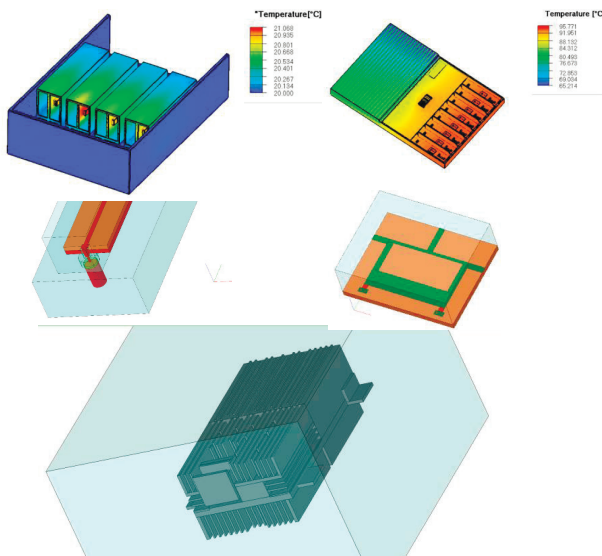


Рис. 8. Демонстрация работы итогового алгоритма отрисовки

## 5. Алгоритм вращения модели мышью

Вращательное движение твёрдого тела в трёхмерном пространстве имеет все три степени свободы. Позиционно-указательное устройство мышь имеет лишь две степени свободы. Чтобы реализовать мышью все три степени свободы вращательного движения нужна специальная вспомогательная функция GetOGLPos, которая преобразует оконные координаты (позицию курсора мыши) в сценовые (трёхмерные координаты) соответствующие той точке, в которой находился курсор позиционирующего устройства. Это возможно при использовании алгоритма Z-буффера.

Теперь методика вращения не вызывает вопросов. Центр вращения есть центр кабинета. Другие две точки: первая получена при нажатии левой кнопки мыши с применением GetOGLPos, вторая аналогичным образом обрабатывает текущую позицию курсора при нажатой левой кнопки. Как только левая кнопка отпущена, вращение прекращается. Три точки позволяют получить два вектора с общим началом в центре кабинета. Вращение происходит вокруг оси – векторного произведения этих двух векторов по правилу буравчика. Смена знака векторного произведения меняет ориентацию оси вращения на противоположную и вращение происходит в обратном направлении естественным образом. Компоненты вектора – оси вращения, разлагают угол вращения покомпонентно, на три угла вращения вокруг осей декартовой прямоугольной системы координат. Не стоит забывать постоянно нормировать все длины векторов на единичную длину вектора по евклидовой норме.

Основная содержательная нагрузка хранится в преобразовании оконных координат в сценовые с помощью GetOGLPos.

## Заключение

Приведены: алгоритм прорисовки полупрозрачных объектов средствами библиотеки OpenGL; алгоритм реализации отрисовки каркасной модели с удалением невидимых линий; детали простейшей реализации CSG. Данная статья может быть интересна той категории программистов, которые разрабатывают собственные САПР или студентам технических вузов, проходящих курс математических основ машинной графики.

Алгоритмы, описанные в данной статье, реализованы в пакете программ [1], который используется в СВЧ-лаборатории Зубкова А. М. для проведения тепловых расчётов полупроводниковых приборов.

С помощью описываемого программного обеспечения [1] могут быть визуализированы компьютерные модели устройств, аналогичные изображённым на рис. 8, состоящие из булевой комбинации прямых прямоугольных призм, цилиндров или плоских полигонов, начерченные в графическом редакторе программы [1]. Также с помощью описываемой программы [1] могут быть отображены трёхмерные физические поля, например, тепловые, хранящиеся в ASCII формате .PLT. Программой [1] поддерживается считывание трёхмерных рассчитанных физических величин из .PLT файла и их визуализация средствами библиотеки OpenGL.

## Обсуждение

Если посмотреть на рис. 7, то можно увидеть, что многие линии прорисованы недостаточно чётко. Более чёткая прорисовка получится, если более тщательно подобрать константу, фигурирующую в алгоритме п. 2.

После реализации в коде замечания к шагу 4 алгоритма п. 3 скорость прорисовки достаточно больших моделей, например, таких как

изображённая на рис. 7, стала приемлемой – изображение стало возможно вращать мышью, картинка перерисовывалась (рендеринг) достаточно быстро. Вывод состоит в том, что скорость рендеринга удалось увеличить достаточно значительным сокращением количества отображаемых полигонов. Это было достигнуто формированием списка только тех граней, которые надо прорисовать. Формирование такого списка занимает существенную долю времени центрального процессора и было вынесено в стадию препроцессинга. Препроцессинг вызывался лишь при изменении пользователем геометрии – удаление или добавление блока, но не при вращении мышью компьютерной модели.

### Литература

1. Иванов К. А., Зубков А. М. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2013660267 «Программа трёхмерного моделирования тепло- и массообмена в радиаторах, состоящих из набора прямоугольных параллелепипедов».
2. Роджерс Д., Алгоритмические основы машинной графики. М. МИР, 1989 г.
3. Краснов М., OpenGL графика в проектах DELPHI C–П., «БХВ» 2000 г.
4. Борисов О. В. и др. Широкополосный 70-ваттный GaN усилитель мощности X-диапазона. Электронная техника. – Серия 2. – 2014 г.
5. Segal M., Akeley K., The OpenGLTM Graphics System: A Specification (Version 1.0), July 1994.

УДК 621.396.9

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМОТЕХНИКИ ПРИЁМОПЕРЕДАЮЩЕГО МОДУЛЯ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ X-ДИАПАЗОНА КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ЦЕЛЕВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

### SIMULATION OF THE CIRCUITRY OF THE TRANSCIVER MODULE OF THE X-BAND SPACE-BASED EARTH REMOTE SENSING SYSTEM WITH THE DETERMINATION OF TARGET CHARACTERISTICS

Лычагин А. Ю., АО «Научно-производственное предприятие «Пульсар», resma@pisem.net  
Lychagin A. Yu., JSC "Pulsar Scientific and Production Enterprise", resma@pisem.net

**Аннотация.** Работа посвящена этапу моделирования схемотехнического решения приёмо-передающего модуля космического базирования X-диапазона, обоснованию выбора схемы диаграммообразования на основе оценки разрешающей способности сквозного тракта РСА с подтверждением результатов натурными испытаниями.

**Annotation.** The work is devoted to the stage of consideration of the circuit design solution for the X-band space-based transceiver module, the choice of the diagram formation scheme based on the resolution assessment at the stage of the draft design and field tests.

**Ключевые слова:** схемотехника твёрдотельного ППМ РСА, активная фазированная антенная решётка (далее – АФАР), разрешение на местности, определение разрешения субапертурной АФАР, сквозной тракт АФАР.

**Keywords:** circuitry of a solid-state TRM SAR, resolution on the ground, determination of the resolution of sub-aperture SAR, through path SAR.

### Введение

В настоящее время возрастает потребность в разработке технологии испытаний и отработки твёрдотельных систем дистанционного зондирования Земли (далее – ДЗЗ), в частности радаров с синтезированной апертурой (далее – РСА) космического базирования, вследствие возможности применения данного средства вне зависимости от погодных условий и возможности достижения субметрового (менее 1 м) разрешения на местности после обработки результатов радиолокационной съёмки.

Выполнение разработок в области ДЗЗ невозможно без натурной отработки и проверки результатов, получаемых на различных этапах жизненного цикла изделий, что само по себе сложный технологический процесс.



Лычагин А. Ю.



При создании РСА (наземного и космического применения) и последующих испытаниях типовая программа расчёта и испытаний не даёт коррелирующих результатов, что требует перехода к новым методам и подходам, а именно к декомпозиции комплекса на раздельное создание схемотехники диаграммообразования приёмопередающих модулей и излучающего полотна [1, 2]. В ходе проведения комплексных испытаний [3] измерение целевых параметров показали нарушение расчётных моделей комплексной оценки характеристик системы (определение разрешения на местности как характеристики спектра сложного сигнала  $R \sim c/2 * \Delta f_{\text{зонд}}$ ).

Расчётная модель с применением аппаратной функции исторически пришла от систем с зеркальной апертурой с механическим приводом вращения луча. При использовании сигнала в комплексе с синтезом апертуры (система с электронным сканированием луча) и широкополосным с внутримпульсной модуляцией (линейным частотно-модулированным сигналом, далее – ЛЧМ) сигналом проявляются особенности прохождения зондирующего импульса через систему распределения сигнала, систему формирования фазового фронта и само формирование фазового фронта вне антенного полотна. Проведённые теоретические и практические исследования показали необходимость рассмотрения новых методов для создания и оценки характеристик систем диаграммообразования в части космических средств, поскольку системы с синтезом апертуры космического базирования являются антеннами большой электрической длины вдоль оси движения.

#### Основная часть

Анализ литературных источников показывает, что в настоящее время отсутствует единая методика оценки системы РСА (которую можно использовать непосредственно при разработке составных частей) табл 1.

методической базы для подготовки к эксплуатации околоземных средств дистанционного зондирования Земли [3].

Этап комплексной оценки – это априорные методы рассмотрения и измерения параметров аппаратной функции по уровню 3 дБ, что позволяет оценить разрешение на местности по азимуту. Для наземных средств эта часть испытаний возможна практически на полигонных испытаниях, для средств космического базирования это возможно только после вывода на орбиту эксплуатации и проведения калибровки по эталонным объектам (проведение обращённого эксперимента – затратно само по себе и выполняется на изделии в целом с существующей системой управления и обработки сигнала).

Для АФАР аппаратная функция (1) не учитывает особенности работы системы диаграммообразования при прохождении широкополосного сигнала через тракт АФАР с большим электрическим размером, связано это прежде всего с подходом к рассмотрению проблемы – формирование фазового центра при управлении диаграммой направленности (далее – ДН) происходит в объёме перед антенным полотном.

$$\Psi(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} u_1(\tau) \cdot u_0(t + \tau) \cdot e^{j2\pi\omega\tau} \, d\tau, \quad (1)$$

где:  $u_0$  – сканирующий сигнал на входе РСА;

$u_1$  – сигнал на выходе устройства (отражённый от цели);

$\tau$  – задержка по времени;

$f$  – смещение по частоте;

$u$  – операция комплексного сопряжения.

На этапе разработки твёрдотельных РСА типовым вариантом для применения системы диаграммообразования является применение фазовращателей (фазовращатели со сбросом фазы ФВ) с дискретным переключением  $\Delta\varphi$ , ещё встречаются системы с применением линий задержек реального времени (на коммутируемых

Таблица 1

Существующие методы испытания систем РСА

Составные части РСА	Методы измерений параметров, влияющих на пространственное разрешение РСА
Радиочастотные блоки	АЧХ, ФЧХ, групповое время задержки
Приёмопередающие модули АФАР	АЧХ, ФЧХ, групповое время задержки
АФАР	Амплитудные и фазовые распределения по всем приёмопередающим каналам
РСА в целом, наземные испытания	Обычно не проверяются (обращенный эксперимент)
РСА в целом, лётные испытания	Измерение параметров отклика РСА на точечный отражатель (метод аппаратной функции)

Приведённый перечень методов не предъявляет явных требований по комплексной оценке РСА, поскольку основывается на априорных знаниях об антенных системах и явно показывает необходимость внимательного рассмотрения и развития знаний и навыков в данной области. Существующие методы показывают результаты, имеющие недостаточность

линиях), также встречаются системы с применением комбинированных систем фазовращатели плюс линии задержки. Явного метода для выбора применения какого-либо варианта схемотехники приёмопередающих модулей (далее – ППМ) не выделяется.

При проведении измерения характеристик и лабораторных отработочных испытаний созданных

образцов проводятся измерения параметров диаграммы направленности для антенного полотна, неравномерности линейности амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик для ППМ. Типовым подходом при измерении параметров антенной системы является измерение параметров на дискретных частотах в рабочем диапазоне работы системы и валидация расчётных диаграмм направленности.

Так при измерении свойств антенны монохроматическим сигналом (разбиением широкополосного ЛЧМ сигнала на дискретные составляющие во временном домене) при схеме управления лучом с использованием только на основе управляемых фазовращателей, возникает эффект частотной зависимости антенны, который проявляется при измерениях на стенде ближней или дальней зоны с применением широкополосного ЛЧМ сигнала (рис. 1).

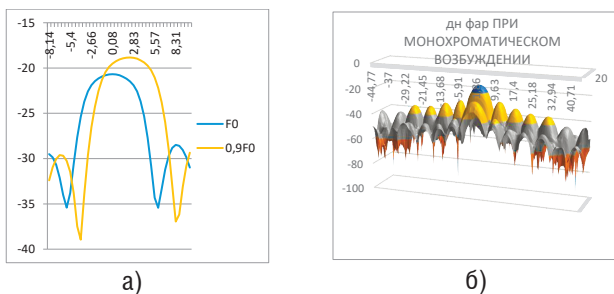


Рис. 1. Результаты измерения ДН антенны:

- а) сечение ДН с возбуждением широкополосным ЛЧМ сигналом;  
б) с монохроматическим сигналом возбуждения.  
По горизонтальной оси – угол в градусах, по вертикальной оси – амплитуда в относительных величинах

Для оптимизации варианта исполнения схемы диаграммообразования после рассмотрения литературных источников [3, 4, 5] наиболее предпочтительной была выбрана методика математического моделирования сечения тела неопределённости с применением трёх схем диаграммообразования (далее – ДО):

- АФАР с расчётным диаграммообразованием («расчётная») – каждый излучающий патч с координатами  $x$  и  $y$  управляется фазой ( $\varphi$ ) и задержкой ( $\tau$ ) для получения волнового фронта;
- АФАР с ДН на фазовращателях;
- АФАР с ДН на ЛЗ и фазовращателях.

Постановка задачи осложняется построением структуры излучающего полотна: в системах космического базирования для соблюдения массо-габаритных требований излучающие каналы объединяют в группы – «субапертуры» [5, 6] достаточно большим размером антенного полотна системы с синтезом апертуры по направлению движения РСА (рис. 2).

Типовой подход оценки в отечественной технике – «метод аппаратной функции» (1), в котором зарубежные источники предлагают оценку основанную на добавлении к параметрам аппаратной функции расстояния до объекта сканирования [7, 9]. Оба подхода не учитывают особенностей работы схем ДО

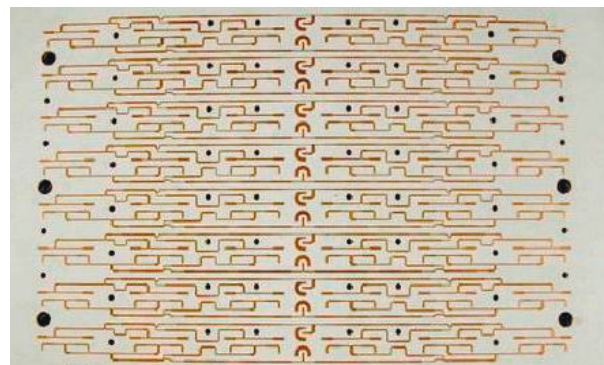
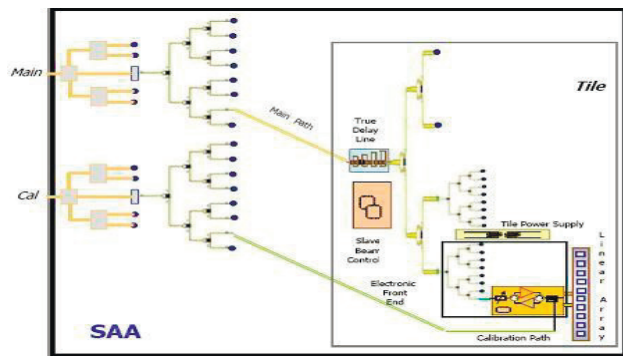


Рис. 2. Схематика системы диаграммообразования твёрдотельного субапертурного модуля Cosmo-SKY-Med

в комплексе с синтезированной апертурой АФАР больших электрических размеров.

Разработанная комплексная методика моделирования системы диаграммообразования комплекса твёрдотельных ППМ плюс антенное полотно – модель согласованного фильтра с пространственно-временной обработкой широкополосного возбуждающего сигнала. Такой подход позволяет рассмотреть и учесть прохождение широкополосного сигнала через систему при излучении сигнала в сторону цели и приёме отражённого сигнала от цели. При этом антенное полотно реализовывалось как согласованный фильтр с пространственной обработкой в комплексе с системой диаграммообразования, а сжатие сигнала реализовывалась как фильтр с временной обработкой (2–4).

Таким образом сигнал на выходе:

$$U_{out}(t) = U(t) * h(t, \theta, \theta_0, \Delta f, \tau), \quad (2)$$

где:  $U(t)$  – сигнал на входе РСА;

$h(t, \theta, \theta_0, \Delta f, \tau)$  – передаточная функция системы; диаграммообразования (система ППМ плюс излучающее полотно);

$\Delta f$  – ширина спектра зондирующего сигнала;

$\Delta \tau$  – длительность зондирующего сигнала.

$$U_{out}(t, \theta, \theta_0, \Delta f, \tau) = F^{-1}[S_u(f) \cdot S_h(f, \theta, \theta_0, \Delta f, \tau)], \quad (3)$$

где:  $F^{-1}$  – обратное преобразование Фурье;

$S_h(f, \theta, \theta_0, \Delta f, \tau)$  – передаточная характеристика пространственного фильтра (полотна РСА);

$S_u(f)$  – характеристика системы запитки антенны широкополосным сигналом;

$\Delta f$  – ширина спектра зондирующего сигнала;

$\tau$  – длительность зондирующего сигнала.



$$\Psi_{\Sigma}(f, \theta, \theta_0, \Delta f, \tau_{и}) = \int_{-\infty}^{+\infty} F^{-1}[S_u(f) \cdot S_h(f, \theta, \theta_0, \Delta f, \tau_{и})], \quad (4)$$

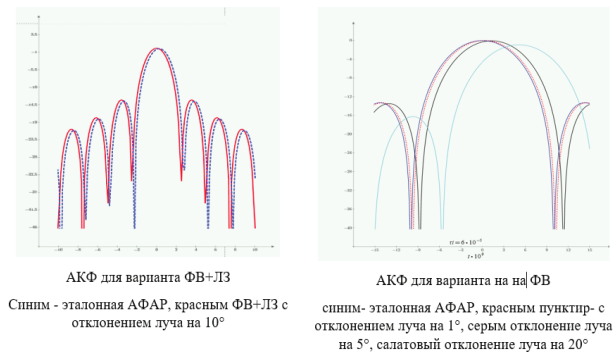
где:  $\Psi_{\Sigma}$  – характеристика сжатого импульса с учётом задержки по времени, ширины спектра ЛЧМ сигнала;

$\Delta \tau_{и}$  – длительность импульса;

$\theta$  – угол наклона луча РСА;

$\theta_0$  – нормаль РСА.

Расчёт и построение графиков тела неопределённости на основе созданной модели позволяет сравнить и утвердить вариант схмотехнического решения на основании сравнения поведения АКФ принятого сигнала (рис. 3).



АКФ для варианта ФВ+ЛЗ

Синим - эталонная АФАР, красным ФВ+ЛЗ с отклонением луча на 10°

АКФ для варианта на ФВ

синим - эталонная АФАР, красным пунктир- с отклонением луча на 1°, серым отклонение луча на 5°, салатовый отклонение луча на 20°

Рис. 3. Сравнение деградации АКФ для трёх вариантов схмотехнического исполнения системы управления сканирования лучом

При оценке результатов расчётов можно увидеть на графиках деградацию сжатого импульса сквозного тракта, при этом вариант без ЛЗ непригоден по причине снижения амплитуды АКФ и смещения максимума, что приводит к потере разрешения и ухудшению разрешения по дальности.

При данном подходе учитывался динамический сигнал возбуждения, направление нормали АФАР (может не совпадает с геометрической нормалью полотна). На представленных диаграммах (рис. 4 и 5) видно влияние схемы диаграммообразования РСА субметрового разрешения, построенной на фазовращателях и линиях задержки.

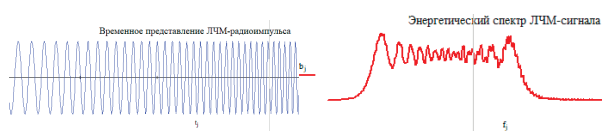


Рис. 4. Временной и частотный домены ЛЧМ импульса на входе РСА-лучом

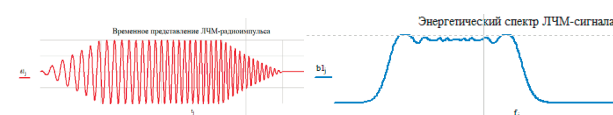


Рис. 5. ЛЧМ сигнал, прошедший тракт приёма-передачи с отражением от эталонного отражателя при наклоне луча 10° временной и частотный домены

На рис. 6 представлена деградация спектра (срезание краёв спектра) сигнала, вследствие сквозного прохождения сложного зондирующего сигнала через систему диаграммообразования в зависимости от положения луча РСА при комплексных наземных измерениях [3 и 8], что в свою очередь наблюдается при определении характеристик на авиационных стендах при проведении комплексных испытаний. Связано это прежде всего с габаритными размерами РСА, системой распределения динамического сигнала (схемы управления лучом и распределения запитки излучателей) и особенностями формирования фазового центра излучающего полотна (вне геометрического центра антенного полотна), также большой вклад вносит направление «0» направления антенного полотна (поскольку твёрдотельные системы дистанционного зондирования Земли являются системой с синтезом апертуры из отдельных излучателей). Это направление может не совпадать с геометрической нормалью полотна.

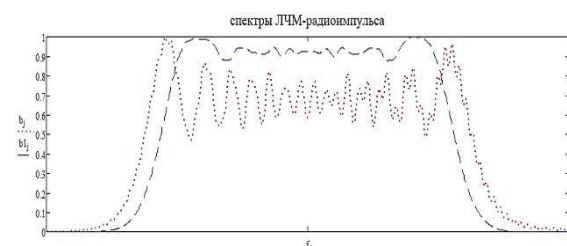


Рис. 6. Спектр сигнала на выходе из приёмника. Точками-спектр импульса при 0° наклоне луча, пунктирами при наклоне 10°

Стендовые измерения и натурные испытания, проведённые на лётном носителе [8] подтвердили выбранное схмотехническое решение и метод расчёта разрешения на местности, который позволяет производить оценку погрешности и целевых характеристик субапертурного твёрдотельного радара с синтезированной апертурой X-диапазона космического базирования.

При моделировании и комплексных измерениях на авиационном носителе [8] подтверждена расчётная модель прохождения широкополосного сигнала и рассмотрены итоговые характеристики прохождения сигнала через сквозной тракт РСА с оценкой динамических свойств спектра сложного сигнала возбуждения (рис. 7).

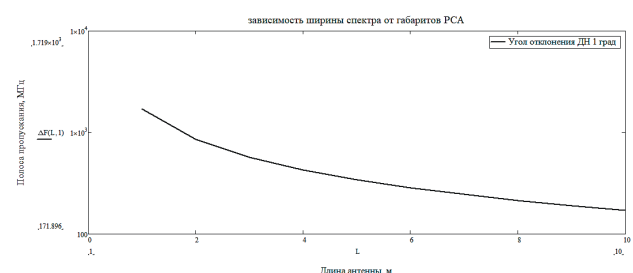


Рис. 7. Зависимость ширины спектра зондирующего сигнала от размеров РСА и угла наклона луча

## Заключение

Разработанная модель позволяет смоделировать характеристики для всего излучающего полотна

в комплексе и его составных частей, рассмотреть влияние схемотехники твёрдотельного РСА и подтвердить разрешение субапертурной системы дистанционного зондирования Земли в части расчёта и оптимизации создания опытных образцов. Поскольку для систем космического базирования проведение комплексных натурных испытаний осложняются отсутствием полноразмерного полигона, применение априорной методики с использованием преобразования Фурье позволяет значительно сократить этап разработки от отработки макета до калибровки полноразмерного образца.

#### Литература

1. Переверзев А. Л., Бирюк А. А., Орешкин В. И., Лялин К. С., Мелёшин Ю. М. Аппаратные и алгоритмические решения при проектировании РСА. DOI: 10.22184 / NanoRus.2019.12.89.149.155 Наноиндустрия. Спецвыпуск / 2019 г.
2. Переверзев А. Л., Бирюк А. А., Орешкин В. И., Кузьмин И. А., Лялин К. С., Довгаль Т. А. Стенд имитационного моделирования радара с синтезированной апертурой. DOI: 10.22184 / NanoRus.2019.12.89.131.134 Наноиндустрия. Спецвыпуск / 2019 г.
3. Применение частотно-манипулированных сигналов для повышения широкополосности РЛС с АФАР Бабокин М. И., Савостьянов В. Ю.. Всероссийская открытая научная конференция

«Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» – «Муром 2020».

4. Проблемы антенной техники под ред. Воскресенского. Москва. «Радио и связь», 1989.

5. Чиков В. А., Волченков А.С., Петров А. С., Прилуцкий А. А. Компьютерная программа для моделирования характеристик субапертурных АФАР, используемых в космических радиолокаторах с синтезированной апертурой Вестник «НПО им. С. А. Лавочкина» 1/47 2020 г.

6. Онлайн-ресурс <http://www.terraview.ru/articles/15/cosmo-sky-med>.

7. Introduction to Synthetic Aperture Radar (SAR). Dr. Patrick Berens Research Institute for High-Frequency Physics and Radar Techniques (FHR). Research Establishment for Applied Science (FGAN).53343 Wachtberg. Germany. berens@fgan.de.

8. Глыбин А. А., Бурцев Ю. В., Лычагин А. Ю., Черевань Д. В. Технология комплексных натурных испытаний антенных модулей АФАР. Международный форум «Микроэлектроника-2017» 3-я Международная научная конференция «Электронная компонентная база и электронные модули». Республика Крым, г. Алушта, 02–07 октября 2017 г.

9. Киселев А. В., Орешкина М. В. Новосибирский государственный технический университет. Имитация радиолокационных эхосигналов от неоднородной земной поверхности.

УДК 621.3

### О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕЗГАЛОГЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ СУДОВЫХ ГЕРМЕТИЗИРОВАННЫХ КАБЕЛЕЙ

#### POSSIBILITY OF APPLICATION OF HALOGEN-FREE POLYMER MATERIALS OF DOMESTIC PRODUCTION FOR SHIP SEALED CABLES

**Жульмина М. Д.**, АО «ОКБ КП», ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»; +7 (913) 872–60–99, mzhulmina@mail.ru;  
**Душкин Ю. В.**, АО «СПО «Арктика», ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»; +7 (964) 298–42–71, dushkin@spoarktika.ru;  
**Невмывака А. Н.**, ; +7 (936) 222–67–04  
**Zhulmina M. D.**, JSC "OKB KP", National Research Tomsk Polytechnic University;  
+7 (913) 872–60–99, mzhulmina@mail.ru;  
**Dushkin Y. V.**, JSC «SPO "Arktika", National Research Tomsk Polytechnic University;  
+7 (964) 298–42–71, dushkin@spoarktika.ru;  
**Nevmyvaka A. N.**, ; +7 (936) 222–67–04

**Аннотация.** В статье рассмотрены варианты перспективных конструкторских решений судовых герметизированных кабелей с применением различных современных полимерных безгалогенных материалов, производимых в России, а также представлены выводы о возможности применения безгалогенных материалов отечественного производства для судовых кабелей.

**Annotation.** The article considers options for promising design solutions for marine sealed cables using various modern polymer halogen-free materials of Russian production. It also presents conclusions on the possibility of using halogen-free materials of domestic production for ship cables.

**Ключевые слова:** судовые герметизированные кабели, безгалогенные материалы, термоэластопласт, герметик, технические характеристики, глубоководные аппараты.

**Keywords:** marine sealed cables, halogen-free materials, thermoplastics, sealant, technical specifications, deep-sea vehicles.





Жульмина М. Д.



Душкин Ю. В.



Невмывака А. Н.

### Введение

Целью данной статьи является определение возможности применения безгалогенных материалов отечественного производства в качестве изоляции и оболочки для судовых герметизированных кабелей, отвечающих современным техническим требованиям к кораблестроению.

Важную роль в электроэнергетической системе кораблей (далее – ЭСК) занимают судовые кабели, являющиеся неотъемлемой частью любой системы передачи электрической энергии и сигналов. Способность выполнять поставленные задачи и обеспечивать безопасность экипажа на надводных кораблях и подводных лодках напрямую связана с надёжностью судовых кабельных сетей, а также с работоспособностью этих сетей в аварийных ситуациях, таких как затопление или пожар в отсеках с выделяющимися при этом агрессивными веществами. Продолжительность и стоимость жизненного цикла современных кораблей также во многом определяется ресурсными показателями кабельных изделий, применённых при их конструировании и строительстве.

Учитывая, назначение и условия эксплуатации кабельных изделий, применяемых на надводных кораблях и подводных лодках, должны предъявляться требования в отношении:

1. Электрических параметров: рабочее переменное электрическое напряжение, электрическое сопротивление токопроводящих жил постоянному току, электрическое сопротивление изоляции, электрическая ёмкость.

2. Механических параметров: стойкость к изгибам, растяжению, истиранию, механическому удару.

3. Стойкости к внешним воздействующим факторам (далее – ВВФ): температура эксплуатации, повышенная влажность воздуха, стойкость к гидростатическому давлению, механическому удару, синусоидальной вибрации, солнечному излучению, плесневым грибам, морской воде, воздействию разогретых масел или паров масел, воздействию дизельного топлива, воздействию агрессивных сред: раствор щавелевой кислоты, паров акролеина, окиси углерода, окиси азота, серной кислоты, сернистого ангидрида; воздействию специальных факторов.

4. Показателей надёжности.

5. Пожарной безопасности и пониженной коррозионной активности продуктов дымогазовыделения при горении и тлении (отсутствие галогенов).

### Основная часть

Исходя из проведённого анализа условий эксплуатации судовых кабелей, необходимо, чтобы современные судовые кабели обеспечивали:

– требования по пожарной безопасности в соответствии с ГОСТ 31565, в т. ч. нераспространение горения в условиях прокладки в пучках по категории «А»;

– срок службы не менее 40 лет (который должен быть не менее расчётного или превышает расчётный срок службы корабля);

– повышенную устойчивость к изгибам в процессе монтажа и при подвижной эксплуатации;

– стойкость к воздействию разогретых масел или паров масел, а также стойкость к воздействию дизельного топлива;

– стойкость к воздействию агрессивных сред;

– повышенную стойкость к продольному гидростатическому давлению до 15 МПа и радиальному гидростатическому давлению до 120 МПа с сохранением работоспособности для специальных герметизированных кабелей;

– работоспособность при воздействии пламени с температурой  $(800 \pm 50)^\circ\text{C}$  в течение 180 мин – для огнестойких кабелей;

– соответствие габаритных размеров размерам аналогов, применяемых при строительстве кораблей и т. д.

Обеспечение данных требований реализуются разработкой конструкторско-технологических решений и выбором соответствующих материалов, позволяющих обеспечить надёжность (безотказность) кабелей в течение всего срока службы.

В зависимости от зоны прокладки на корабле судовые кабели могут быть разделены на герметизированные и негерметизированные. В случае повреждения негерметизированного кабеля по конструкции может распространяться вода, поэтому для обеспечения живучести подводного корабля широко применяются герметизированные кабели.

Значительная номенклатура судовых герметизированных кабелей (по типу КВДН, СМПВГ, КРНГ т. д.), представленных на российском рынке, разработана 30 лет назад и не отвечает всем современным требованиям надёжности и пожарной безопасности [1].

Также следует отметить, что в конструкциях современных судовых кабелей для обеспечения необходимых требований применяются зарубежные

компаунды (например, в кабелях марки СКПКГнг(В)-LS в качестве оболочки используется компаунд марки Mocoline), что в современных условиях создаёт дополнительные риски при его серийном выпуске. Поэтому в настоящее время актуальна задача замены импортных материалов на отечественные с аналогичными или лучшими характеристиками.

Ряд российских предприятий-изготовителей полимерных материалов совместно с АО «ОКБ КП» в инициативном порядке проводят активную работу по разработке безгалогенных материалов для судовых кабелей. Были разработаны рецептуры материалов в соответствии с техническими требованиями к безгалогенным материалам, включая их технологичность. В ходе работы было апробировано более 20 рецептов новых материалов. Для оценки возможности их использования в судовых кабелях в АО «ОКБ КП» изготовили макетные образцы по типу судовых кабелей КВДН (макетный образец 2) и СМПВГ (макетный образец 1), в которых для изоляции использовалась безгалогенная полимерная композиция, а оболочка изготовлена либо из безгалогенного полимерного компаунда (далее – БГ), либо из термоэластопласта (далее –

ТЭП), с применением отечественного огнестойкого безгалогенного герметика Абрис-СК-Бтг.

На макетных образцах были проведены испытания по специальной программе на соответствие требованиям к электрическим и механическим параметрам, требованиям к пожарной безопасности по ГОСТ 31565 (в т. ч. проверку соответствия требованиям к нераспространению горения в условиях прокладки в пучках по категории «А» в соответствии с ГОСТ IEC 60332-3-22), испытаниям на длительное воздействие повышенной температуры среды (90 °С и 100 °С) и пониженной температуры среды (минус 50 °С), повышенной влажности воздуха, морской воды, солнечного излучения, периодического воздействия 1,5 % раствора щавелевой кислоты, дизельного топлива и приборного масла МВП, продольного (15 МПа) и радиального (до 65 МПа) гидростатического давления, а также проверку отсутствия вытекания герметика при вертикальной прокладке.

Значения основных технических характеристик, полученных при проведении испытаний макетных образцов кабелей, а также значения технических характеристик кабелей типа СМПВГ, КВДН, и СКПКГнг(В)-LS представлены в сравнительной табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная таблица основных технических характеристик судовых кабелей, выпускаемых серийно и макетных образцов АО «ОКБ КП»

Характеристики кабеля	СМПВГ	КВДН	СКПКГнг(В)-LS	Макетный образец 1 (по типу СМПВГ)	Макетный образец 2 (по типу КВДН)
Изоляция	ПЭ	Резина РТИ-1	ПЭ	Полимерная безгалогенная композиция отечественного производства	
Оболочка	ПВХ-пластикат ОНЗ-40	Резина РШН-2	Импортный безгалогенный компаунд марки Mocoline	Отечественный БГ	Отечественный ТЭП
Температура эксплуатации, °С	От минус 40 до 65	От минус 40 до 45	От минус 50 до 70	От минус 50 до 70	
Требования пожарной безопасности	Не распространяют горение при одиночной прокладке		Соответствует ГОСТ 31565 и требованиям к нераспространению горения в условиях прокладки в пучках по категории «В»	Соответствуют ГОСТ 31565 и требованиям к нераспространению горения в условиях прокладки в пучках по категории «А»	
Маслостойкость	+	+	+	+	+
Стойкость к изгибам	1000 циклов на 90° (8D)	10 циклов на 90° (8D)	50 циклов на 90° (4D)	50 циклов на 90° (4D)	более 50 циклов на 90° (4D)
Разрывная прочность оболочки $\sigma_{pp}$ , МПа	13,7	5,9	5,9	5,9	5,9
Относительное удлинение $\varepsilon_{pp}$ при разрыве, %	300	275	300	220	500
Срок службы	20 лет	20 лет	35 лет	40 лет, не менее 80 000 ч (в стадии подтверждения)	
Стойкость к продольному гидростатическому давлению, МПа	10	15	10	15	

Продолжение табл. 1. Начало на с. 12

Характеристики кабеля	СМПВГ	КВДН	СКПКГнг(В)-LS	Макетный образец 1 (по типу СМПВГ)	Макетный образец 2 (по типу КВДН)
Стойкость к радиальному гидростатическому давлению, МПа	10	63	10		65

Макетные образцы кабеля по типу СКПКГнг(В)-LS с оболочкой из материала марки Mecoline S 1013 F выдержали испытание на воздействие повышенной температуры среды при эксплуатации 90 °С в течение 5000 ч. Повреждения оболочки кабеля не обнаружены. Образцы кабелей, изготовленные с применением БГ и ТЭП в качестве оболочки кабеля, прошли испытания на воздействие повышенной температуры среды при температурах: 90 °С в течение 4600 ч и 100 °С в течение 3800 ч, для подтверждения показателей надёжности (гамма-процентная наработка до отказа ( $T_\gamma$ ) кабелей при соблюдении требований к режимам и условиям эксплуатации, при значении  $\gamma = 99\%$ , в пределах срока службы  $T_{cl} - 40$  лет не менее 80000 ч). Повреждения оболочки кабеля не обнаружены, испытания по подтверждению показателей надёжности продолжаются.

Для сравнения значений физико-механических характеристик материалов оболочки приведены диаграммы (рис. 1 и 2). Определение физико-механических характеристик компаунда марки Mecoline S TP 1013 F, а также БГ и ТЭП проводили по [4], значения физико-механических характеристик для шланговой резины РШН-2 и поливинилхлоридного пластика ОНЗ-40 – справочные данные согласно [5 и 6] соответственно. В качестве эталонного образца для сравнения использовали импортный безгалогенный негорючий компаунд марки Mecoline (пунктирная линия рис. 1 и 2).

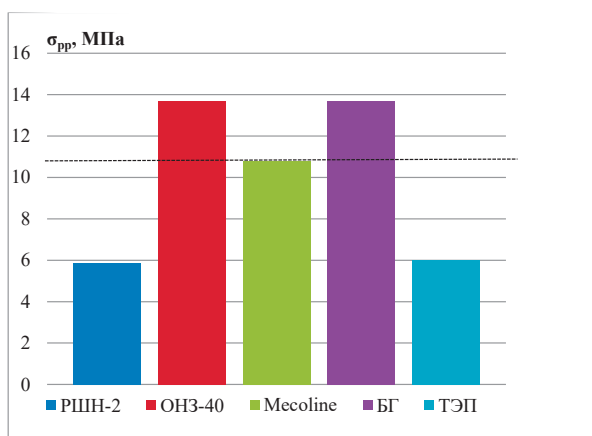


Рис. 1. Значение прочности при разрыве материалов оболочки временной и частотной домены

Из диаграмм видно, что разрывная прочностью БГ превосходит разрывную прочность компаунда Mecoline S TP 1013 F, но уступают импортному аналогу по относительному удлинению при разрыве. ТЭП, в свою очередь, имеет значение относительного удлинения

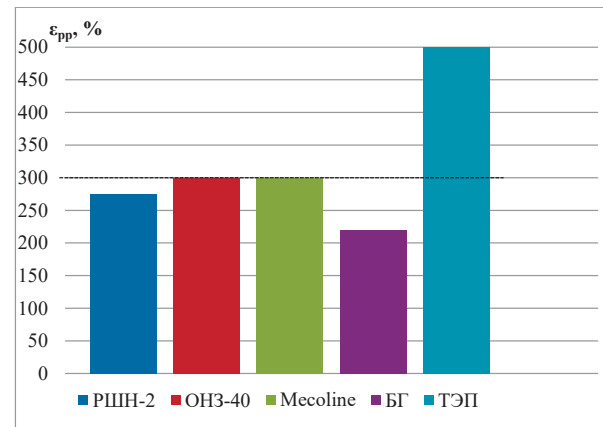


Рис. 2. Значение относительного удлинения при разрыве материалов оболочки

при разрыве выше указанного значения компаунда Mecoline S TP 1013 F, но уступает по прочности при разрыве импортному аналогу. Исходя из полученных результатов, проводится работа по доработке рецептур материалов с целью получения оптимальных значений физико-механических характеристик БГ и ТЭП.

На основании полученных результатов испытаний (табл. 1), можно утверждать, что судовые герметизированные кабели с изоляцией и оболочкой из полимерных безгалогенных материалов отечественного производства имеют преимущества в сравнении с материалами серийно-изготавливаемых судовых кабелей:

- в отношении требований пожарной безопасности (соответствие требованиям пожарной безопасности в соответствии с ГОСТ 31565 и требованиям к нераспространению горения в условиях прокладки в пучках по категории «А»);
- имеют более высокое значение нагревостойкости;
- в отношении устойчивости к механическим изгибам (для ТЭП);
- в отношении стойкости к продольному гидростатическому давлению (15 МПа) и радиальному гидростатическому давлению (65 МПа).

#### Заключение

Результаты исследования показали, что безгалогенные материалы (БГ и ТЭП) российского производства являются перспективной заменой устаревших материалов, а также импортных аналогов. Кабели, выполненные на российских БГ и ТЭП, удовлетворяют современным требованиям пожарной безопасности, маслостойкости, стойкости к изгибам и теплостойкости. ТЭП является более эластичным материалом, чем БГ, что является хорошим преимуществом при прокладке и монтаже кабельных трасс корабля. Таким образом, применение



безгалогенных полимерных материалов в качестве изоляции и оболочки судовых герметизированных кабелей является перспективным конструкторским решением для развития кабельной техники и судостроения в целом, необходима скорейшая сертификация новых материалов и внедрение их в производственную практику с соответствующей корректировкой.

#### Литература

1. Ермолин Ю. Г., Ляпидов К. С. О применении современных безгалогенных огнестойких кабелей // Судостроение № 1. 2015.
2. ГОСТ 31565–2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности.

3. ГОСТ IEC 60332–3–22–2001. Испытания электрических и оптических кабелей в условиях воздействия пламени. Часть 3–22. Распространение пламени по вертикально расположенным пучкам проводов или кабелей. Категория А.

4. ГОСТ 11262–2017. Пластмассы. Метод испытания на растяжение.

5. ГОСТ 596–72. Пластикат поливинилхлоридный для изоляции и защитных оболочек проводов и кабелей.

6. ТУ 16.К71–098. Резина и резиновые смеси для кабельных изделий.

7. ТУ 16.К71–106–90. Кабели судовые с пластмассовой изоляцией и оболочкой герметизированные.

8. ТУ 0293–002–07537654–2007. Кабели и провода силовые и контрольные судовые герметизированные.

УДК 681.785

### ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИГНАЛЫ И ИХ ОБРАБОТКА В СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И В МНОГОАЛЬТЕРНАТИВНОЙ СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

### MEASURING SIGNALS AND THEIR PROCESSING IN THE SPECTROSCOPIC CONTROL SYSTEM OF AIRCRAFT PROPULSION SYSTEMS AND IN THE MULTI-ALTERNATIVE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

**Воробьева Е. Г.**, СПб ГУАП; + 7 (911) 084–22–10, jane.vorobevea@yandex.ru;

**Москалец О. Д.**, к. т. н., СПб ГУАП; + 7 (911) 962–19–76, molegd@mail.ru;

**Шведов А. В.**, ООО «ВИТАЛ ЭЛЕКТРОНИКС ВП»; + 7 (911) 762–21–81, shvedov@vital-ic.com

**Vorobyeva E. G.**, St. Petersburg State University of Aerospace

Instrumentation; + 7 (911) 084–22–10, jane.vorobevea@yandex.ru;

**Moskalets O. D.**, Ph. D. of engineering sciences,

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation; + 7 (911) 962–19–76, molegd@mail.ru;

**Shvedov A. V.**, VITAL ELECTRONICS VP LLC; + 7 (911) 762–21–81, shvedov@vital-ic.com

**Аннотация.** В статье предлагается дальнейшее развитие темы применения методов оптической эмиссионной спектроскопии в системах диагностики двигательных установок летательных аппаратов в условиях стендовых испытаний и в многоальтернативных системах автоматического управления. Приведена функциональная схема многоальтернативной системы автоматического управления. Рассмотрены методы обработки измерительных сигналов оптического диапазона путём применения многоканального оптического спектрометра, дифракционного решёточного спектрального прибора с применением ПЗС-линейки.

**Annotation.** The article suggests further development of the topic of the application of optical emission spectroscopy methods in the diagnostics systems of aircraft propulsion systems under bench tests and in multi-alternative automatic control systems. The functional scheme of a multi-alternative automatic control system is given. Methods of processing measuring signals of the optical range by using a multi-channel optical spectrometer, a diffraction grating spectral device, and a CCD ruler are considered.

**Ключевые слова:** система диагностики, многоальтернативная система автоматического управления; спектральные измерения; спектроскопическая информация; спектральный прибор; аппаратная функция; одномерная матрица; узкополосный фильтр; пространственная фильтрация, многоканальный оптический спектрометр, дифракционный решёточный спектральный прибор, ПЗС-линейка.

**Keywords:** diagnostic system, multi-alternative automatic control system; spectral measurements; spectroscopic information; spectral device; hardware function; one-dimensional matrix; narrowband filter; spatial filtration, multichannel optical spectrometer, diffraction grating spectral device, CCD ruler.



Воробьева Е. Г.



Москалец О. Д.



Шведов А. В.

### Введение

Методы спектроскопии и спектральные приборы являются наиболее распространёнными при выполнении физико-технических исследований. Чрезвычайно широкое распространение приборов для измерения гармонических спектров обусловлено важностью и разнообразием получаемой с их помощью информации как в фундаментальных исследованиях строения материи, так и при решении прикладных задач. В первую очередь методы и приборы гармонического анализа охватывают те научные направления, которые обеспечивают прогресс всей науки в целом, а также наиболее динамично развивающиеся области современной техники, основанные на использовании достижений физики твёрдого тела, квантовой электроники и др.

При спектроскопических измерениях спектральные приборы исследуют электромагнитное излучение как сигнал, посылаемый материей и несущий информацию об её строении, таким образом, спектральные приборы являются инструментами для изучения микромира.

Отмеченные направления спектроскопических исследований насчитывают многие десятилетия, а их актуальность непрерывно возрастает, наряду с этим появились новые направления спектроскопических измерений, речь идёт о применении этих методов в системах контроля [1, 2] и многоальтернативного автоматического управления [3, 4], диагностике двигательных установок (далее – ДУ) летательных аппаратов (далее – ЛА) [5].

Отдельно следует отметить применение методов оптической спектроскопии для диагностики ДУ ЛА при их стендовых испытаниях для предотвращения тяжёлых аварийных ситуаций [6]. Речь идёт о применении методов оптической эмиссионной спектроскопии со своей спецификой, определяемой решаемой задачей индикации предаварийной ситуации. Эта специфика заключается в том, что заранее известны частоты (длины волн) подлежащих обнаружению излучений, и задача измерительной системы – представить факт обнаружения этих излучений, которые являются атомными спектральными линиями конструктивных элементов [6] в этом состоит задача контроля.

Контроль – это процесс установления соответствия между состоянием (свойством) объекта/процесса контроля и заданной нормой, определяющей качественно различные области его состояния. В результате контроля выдаётся суждение о состоянии объекта/процесса контроля [7]. В случае диагностики состояния двигателей летательных аппаратов при стендовых испытаниях

заданной нормой контроля считаются нулевые показания результата спектроскопических измерений, а обнаружение того или иного числа спектральных линий элементов конструктивных материалов требует формирования сигнала тревоги.

В упомянутой выше работе [3] обозначено принципиально новое направление применения методов оптической спектроскопии. Речь идёт о многоальтернативном автоматическом управлении [8] физическими или физико-химическими процессами, сопровождающимися электромагнитным излучением в оптическом диапазоне, при этом сигнал ошибки формируется посредством спектроскопических измерений. В случае применения спектрального прибора в качестве измерительного устройства в системах многоальтернативного автоматического управления (далее – СМАУ) спектроскопическая информация должна выдаваться в форме отсчётных значений измеряемого спектра, т. е. в форме одномерной матрицы.

#### 1. Измерительный сигнал в системе спектроскопической диагностики двигательных установок летательных аппаратов и в многоальтернативных системах автоматического управления

Вопрос о первичном измерительном сигнале и его информативном параметре является одним из основных при выполнении тех или иных измерений. При спектроскопических измерениях в оптическом диапазоне под первичным сигналом мыслится динамический сигнал в форме электромагнитных колебаний источников  $e_0(t)$ , где  $t$  – текущее время, а в качестве информативного параметра имеется в виду его энергетический спектр, где  $\omega$  – временная угловая частота.

В рамках темы диагностики ДУ ЛА под первичным измерительным сигналом понимается спонтанное излучение термически возбуждённых атомов элементов конструктивных материалов. Атомные эмиссионные спектры состоят из отдельных линий, которые характеризуются следующими параметрами: длиной волны (частотой), интенсивностью и профилем.

Колебания  $e_0(t)$  источников являются узкополосными колебаниями, и их математическая модель описывается в форме конечной суммы  $N$  аналитических сигналов:

$$e_0(t) = \sum_{n=1}^N \dot{E}_n(t) \cdot \exp(i\omega_n t), \quad (1)$$

где:

$\dot{E}_n(t)$  – комплексная амплитуда  $n$ -ой спектральной

линии, определяет интенсивность спектральной линии;  $\omega_n$  – угловая частота n-ой спектральной линии.

Первичный сигнал (1), как колебательное явление, формирует поле излучения, которое является промежуточным сигналом и описывается выражением:

$$e_0(t, \mathbf{r}) = \sum_{n=1}^N \dot{a}_n \dot{E}_n(t - \mathbf{k}_n \mathbf{r}_n) \exp[i(\omega_n t - \mathbf{k}_n \mathbf{r}_n)], \quad (2)$$

где:

$\mathbf{k}_n$  – волновой вектор,  $|\mathbf{k}_n| = \omega_n/c_0$ , здесь  $c_0$  – скорость света;

$\mathbf{r}_n$  – радиус-вектор, учитывающий пространственное положение источников в сумме (1).

## 2. Многоальтернативная система автоматического управления

Основой функциональной схемы САУ, где сигнал ошибки предлагается формировать по результатам спектроскопических измерений, принята функциональная схема многоканальной системы автоматического управления (далее – САУ) [9], которая приведена на рис. 1.

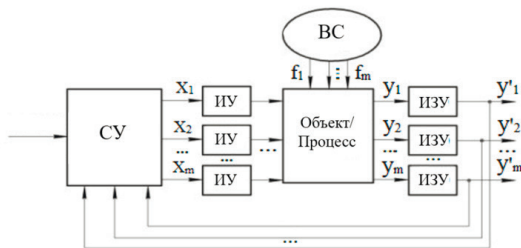


Рис. 1. Функциональная схема САУ

На этой схеме введены следующие обозначения: СУ – система управления;  $X_k$  – входные переменные; ИУ – исполнительные устройства; ВС – внешняя среда;  $f_k$  – возмущающие воздействия; Объект/Процесс – объект/процесс управления;  $Y_k$  – регулируемые переменные; ИЗУ – измерительные устройства;  $Y'_k$  – выходные переменные, которые объединяются в вектор выхода  $\{Y'_k\}$ .

Переход от схемы, представленной на рис. 1, к схеме многоальтернативной САУ заключается в следующем:

1) система измерительных устройств {ИУ} заменяется одним измерительным устройством – дифракционным призменным спектральным прибором или параллельным анализатором оптического диапазона [9], на вход которого падает оптическое излучение, порождённое управляемым физическим или физико-химическим процессом и несущее информацию о его течении, и заменяющее систему векторов  $\{y_j\}$ ; формирование вектора выхода  $\{y'_k\}$  выполняется путём считывания спектроскопической информации с ПЗС-линейки с помощью пикселей, соответствующих тем узкополосным участкам спектра либо с разрешающей системы параллельного анализатора оптического диапазона;

2) устройство управления дополняется устройством расстановки приоритетов управления по тому или иному компоненту вектора выхода  $Y'_k$ .

Соответствующая функциональная схема МСАУ представлена на рис. 2.

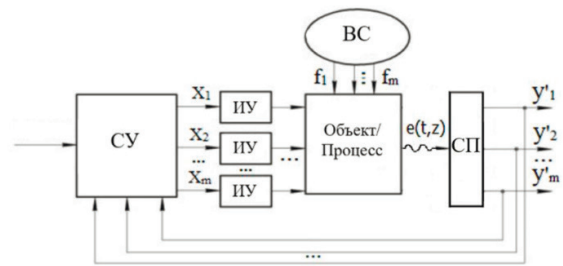


Рис. 2. Функциональная схема многоальтернативной САУ

В отличие от рис. 1 на рис. 2 введены следующие обозначения:  $e(t, z)$  – оптическое излучение, несущее спектроскопическую информацию об объекте/процессе управления; СП – оптический спектральный прибор.

## 3. Обработка измерительных сигналов

Представление первичного измерительного сигнала в форме (1) определяет специфику его спектральной обработки, которая, по существу, является узкополосной фильтрацией. Такая фильтрация может быть выполнена либо многоканальным анализатором спектра оптического диапазона [9] при должной организации разрешающей системы, либо дифракционным спектральным прибором, решёточным или призменным при соответствующем формировании считывания спектроскопической информации. В последнем случае речь идёт о применении фотодетектирования на базе ПЗС – линейки (линейный прибор с зарядовой связью) с соответствующей топологией.

На рис. 3 приведена оптическая схема многоканального анализатора оптического диапазона [10].

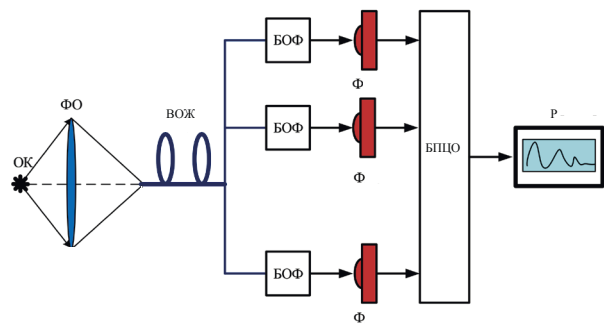


Рис. 3. Структурная схема многоканального анализатора оптического диапазона:

ОК – объект контроля/управления (процесс горения);  
ФО – формирующая оптика; ВОЖ – волоконно-оптический жгут;  
БОФ – блок оптической фильтрации; Ф – фотоприёмники;  
БПЦО – блок последдетекторной цифровой обработки; Р – регистратор

Разрешающая система многоканального анализатора оптического диапазона состоит из  $N$  узкополосных интерференционных оптических фильтров со средними угловыми частотами  $\omega_n$ , каждый из этих фильтров в конечном счёте осуществляет узкополосную фильтрацию аналитического сигнала  $\dot{E}_n(t) \exp(i\omega_n t)$ , дальнейшая обработка результата узкополосной фильтрации посредством фотодетектирования и временного интегрирования в блоке последдетекторной цифровой обработки даёт соответствующую оценку энергетического спектра [1], отличие матрицы выходов такого прибора от нулевой указывает на возможность аварийной ситуации.



В настоящее время имеющиеся узкополосные оптические интерференционные фильтры не обладают достаточно узкими полосами пропускания, поэтому предпочтительнее выполнять узкополосную фильтрацию с помощью дифракционного решётчатого спектрального прибора.

Оптическая схема дифракционного решётчатого спектрального прибора приведена на рис. 4, здесь приняты следующие обозначения: ИИ – источник излучения; ФОР – формирующая оптика; ДР – дифракционная решётка; Л – апертура решётки; Л – идеальная положительная тонкая линза с фокусным расстоянием F; ФПУ – линейка фотоприёмных устройств;  $\varphi_1, \varphi_2$  – углы дифракции;  $\lambda_1, \lambda_2$  – длина волны.

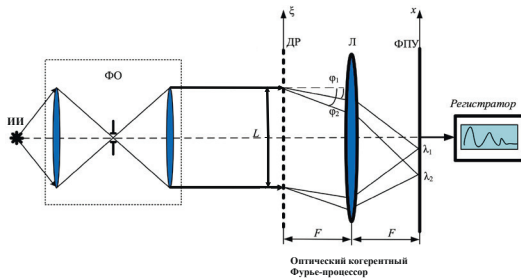


Рис. 4. Оптическая схема дифракционного решётчатого спектрального прибора

Как следует из рис. 4, назначение формирующей оптики заключается в формировании однородной плоской волны из поля излучения (2), эта волна падает на вход разрешающей системы дифракционного спектрального прибора, в состав которой входит дифракционная решётка и оптический когерентный Фурье-процессор [11], последний включает два слоя свободного пространства и линзу Л между ними.

Процесс узкополосной фильтрации в решётчатом спектральном приборе требует рассматривать действие его разрешающей системы с общих позиций теории линейных систем. Подробный анализ действия дифракционного решётчатого прибора выполнен в работе [12], где установлена его комплексная аппаратная функция, которая в конечном счёте является реакцией прибора на гармоническое колебание с угловой частотой  $\omega'$ :

$$K(\omega, \omega', t) = \sqrt{\omega' \exp(i\omega't)} \frac{\sin[(\omega - \omega')T_a(x)/2]}{(\omega - \omega')x/c_0 F}, \quad (3)$$

где:  $\omega = \omega_x = \Omega_g c_0 F/x$  – временная угловая спектральная частота, здесь;  $\Omega_g = 2\pi/T_g$  – частота дифракционной решётки;  $T_g$  – период дифракционной решётки;  $T_a(x) = L_x/2c_0 F$  – «время» анализа.

Комплексная аппаратная функция является ядром линейного интегрального оператора, устанавливающего соотношение вход – выход разрешающей системы спектрального прибора:

$$S_a(\omega, t) = \int_{-\infty}^{\infty} K(\omega, \omega', t) S_0(\omega') d\omega' = \sum_{n=1}^N S_{an}(\omega, t), \quad (4)$$

где:  $S_a(\omega, t)$  – комплексный аппаратный спектр;  $S_0(\omega') = \hat{F}e_0(t)$ , здесь  $\hat{F}$  – оператор преобразования Фурье.

Комплексный спектр (4) формируется в выходной плоскости разрешающей системы, т. е. на чувствительной поверхности фотодетектора, в качестве которого предполагается ПЗС-линейка, схематически представленная на рис. 5. Каждый пиксель ПЗС-линейки рассматривается как фильтр пространственных частот с полосой пропускания  $\Delta\omega_{xn} = \omega_x(x_n + \Delta x_n) - \omega_x(x_n - \Delta x_n)$ .

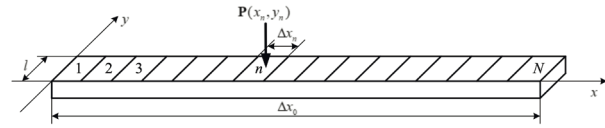


Рис. 5. ПЗС-линейка

Комплексный спектр, соответствующий n-ому пикселю, для  $W_x > 0$  даётся выражением:

$$S_{an}(\omega, t) = \sqrt{\omega'_{0n}} \int_{\omega_x(x_n - \Delta x_n)}^{\omega_x(x_n + \Delta x_n)} K(\omega, \omega_n, t) S_0(\omega_n) d\omega_n. \quad (5)$$

Оптический сигнал в форме комплексного спектра (5), как результат узкополосной пространственной фильтрации (5), детектируется с помощью n-ого пикселя, а результат фотодетектирования интегрируется по времени, что даёт энергетический спектр, соответствующий n-ому пикселю:

$$G_{an}(\omega) = \frac{1}{T_R} \cdot \int_{-T_R/2}^{T_R/2} |S_{an}(\omega, t)|^2 dt. \quad (6)$$

В работе [12] соотношение (6) приведено к форме линейного интегрального оператора для энергетических спектров:

$$G(\omega) = \omega_{0n} \int_{\omega_x(x_n - \Delta x_n)}^{\omega_x(x_n + \Delta x_n)} \frac{\sin^2[(\omega - \omega')T/2]}{[(\omega - \omega')T/2]^2} G_0(\omega') d\omega', \quad (7)$$

где:  $G_0(\omega) = |S_0(\omega)|^2$  – энергетический спектр анализируемого сигнала за время усреднения  $T_R$ .

Колебания под знаком суммы (1) являются чрезвычайно узкополосными, они используются при калибровке оптических спектральных приборов, т. е. предполагается,

$$\dot{E}_n(t) \exp(i\omega_n t) \approx \dot{E}_n(0) \exp(i\omega_n t), \quad (8)$$

тогда, на чувствительной поверхности n-ого пикселя имеет место результат в форме комплексной аппаратной функции:

$$S_{an}(\omega, t) = \sqrt{\omega'_{0n}} K(\omega, \omega_n, t). \quad (9)$$

Результат фотодетектирования даёт квадрат модуля комплексной аппаратной функции, а результат суммирования составляет матрицу откликов спектрального прибора, и если эта матрица окажется не нулевой, то должен быть сформирован сигнал – предвестник аварийных ситуаций.

Полученные результаты вполне аналогичны тем, которые имеют место при рассмотрении действия параллельного анализатора спектра оптического диапазона [1].

### Заключение

Настоящая работа посвящена дальнейшей разработке теоретических предпосылок создания спектральной аппаратуры оптического диапазона для предотвращения аварийных ситуаций при стендовых испытаниях ДУ ЛА.

В процессе выполнения исследований предложена модель сигнала – предвестника аварийных ситуаций и описаны методы обработки этого сигнала многоканальным анализатором оптического диапазона и дифракционным решёточным спектральным прибором при считывании спектроскопической информации при помощи ПЗС-линейки. Предложено рассматривать сигналы – предвестники аварийных ситуаций как аппаратные функции спектральных приборов, показана возможность многоальтернативного автоматического управления физическими и физико-химическими процессами, сопровождающимися оптическими излучениями, посредством формирования векторов выхода на базе спектроскопических измерений. Эти измерения выдают спектроскопическую информацию о различных сторонах течения названных процессов, которая может быть использована для многоальтернативного автоматического управления.

К числу таких процессов относится горение, оно является сложным физико-химическим процессом, который, в свою очередь, является информационным процессом. Информация, отражающая процесс горения, имеет своим носителем динамический сигнал в форме оптического излучения. Выдающаяся роль методов оптической спектроскопии при изучении процессов горения хорошо известна, и это стимулирует дальнейшее развитие этих методов и технических средств оптической спектроскопии в задачах изучения процессов горения, а также в целях многоальтернативного управления этими процессами.

### Литература

1. Ваганов М. А. Резонансный метод бесконтактного анализа оптических спектров и его техническая реализация для решения задач контроля процессов горения: диссертация... кандидата технических наук: 05.11.13 – Санкт-Петербург, 2014. – 152 с.

2. Казаков В. И. Система оптического спектрального контроля с высокопорядковой дифракционной решёткой: диссертация... кандидата технических наук: 05.11.13 – Санкт-Петербург, 2019. – 150 с.

3. Ваганов М. А., Москалец О. Д. Методы оптической спектроскопии в системах автоматического управления процессами горения // Датчики и системы, 2018. – № 12. – С. 32–37.

4. Moskaletz O. D., Serdiuk K. V. Diffraction Spectral Devices in the Multi-Alternative Automatic System, 2020 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF), 2020, pp. 1–5, doi: 10.1109/WECONF48837.2020.9131452.

5. Панков Е. А., Чайка Е. Н. Применение инфракрасной спектроскопии для диагностики авиационных двигателей // eLibrary ID: 3638535.

6. Алёхин А. А. Исследование спектральных характеристик свечения факела двигателя 11Д58М / Алёхин А. А., Баринов В. А., Любченко Ф. Н. // Теоретические и экспериментальные исследования вопросов общей физики. Сб. науч. трудов ЦНИИ Маш, 2003. – С. 6–14.

7. Рубичев И. А. Измерительные информационные системы. М.: Дрофа, 2010. – 334 с.

8. Подвальный С. Л., Васильев Е. М. Интеллектуальные системы многоальтернативного управления: принципы построения и пути реализации // Всероссийское совещание по проблемам управления. ВСПУ 2014 г. Москва, 16–19 июля 2014 г. – С. 996–1007.

9. Мирошник И. В. Теория автоматического управления. Линейные системы / СПб.: Питер, 2005. – 336 с.

10. Пат. 86734 РФ, МПК8 G 01 J 3/26. Параллельный анализатор спектра сигналов оптического диапазона / Архипов И. Н., Ваганов М. А., Кулаков С. В., Котликов Е. Н., Москалец О. Д., Пресленев Л. Н., Прокашев В. Н. (РФ). № 2009116195/22 // Изобретения и полезные модели, 2009. – № 25. – 2 с.

11. Папулис А. Теория систем и преобразований в оптике / Пер. с англ. М.: Мир, 1971. – 496 с.

12. Kazakov V. I., Kuryleva, A. S., Moskaletz O. D., Moskaletz O. D. Instantaneous spectra in spectral and correlation processing of dynamic signal devices of radio and optical ranges and their linear and nonlinear transformations // Proc. SPIE 10680, Optical Sensing and Detection V. 2018. P. 1068025.

УДК 621.38

**ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ  
НА ЭТАПЕ РАЗРАБОТКИ**

**PROBLEMATIC ISSUES OF ASSESSING THE TECHNICAL LEVEL OF ELECTRONIC COMPONENT BASE PRODUCTS  
AT THE DEVELOPMENT STAGE**

**Милосердов С. С.**, к. т. н., **Матюхин Д. В.**, к. т. н., ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России  
**Miloserdov S. S.**, Ph. D. of Engineering Sciences, **Matyukhin D. V.**, Ph. D. of Engineering Sciences, Associate Professor,  
FSBI "46 Central Research Institute" of the Ministry of Defense of Russia

**Аннотация.** В статье рассмотрены практические результаты применения методического аппарата оценки технического уровня изделий электронной компонентной базы на этапе их разработки. Предложены организационные, информационные и технические пути решения проблемных вопросов.

**Annotation.** The article discusses the practical results of the application of the methodological apparatus for assessing the technical level of electronic component base products at the development stage.

**Ключевые слова:** электронная компонентная база, радиоэлектронная промышленность, мировой технический уровень, экспертная оценка, методический аппарат, разработка.

**Keywords:** electronic component base, radio-electronic industry, world technical level, expert assessment, methodological apparatus, development.

### Введение

Стратегией развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года, утверждённой распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 января 2020 года № 20-р (<http://government.ru/docs/38795/>) в качестве целевых индикаторов её реализации, определён мировой технический уровень электронной компонентной базы (далее – ЭКБ или изделия) и уровень технологического оснащения отечественных предприятий отрасли.

Технический уровень выпускаемой продукции является одним из важнейших источников роста эффективности производства ЭКБ, а результаты его оценки представляют собой исходную информацию для принятия управленческих решений на всех стадиях жизненного цикла изделий и обеспечения их конкурентоспособности.

Введённый в 2021 году ГОСТ РВ 0020–39.412 [1], входящий в состав комплекса стандартов «Климат-8», содержит требование, в соответствии с которым технический уровень разрабатываемых изделий не должен уступать уровню лучших зарубежных аналогов и должен превосходить уровень лучших отечественных достижений. Это требование содержалось и в стандартах комплекса «Климат» предыдущих поколений.

Учитывая изложенное, оценка технического уровня является важной и актуальной задачей.

### Основная часть

Исходя из практического опыта оценить технический уровень изделия, предлагаемого к разработке, вполне способен эксперт или технический специалист в предметной области. В этом случае качество оценки (близость к фактическому состоянию дел в предметной области) – R зависит от доступной информации – I, времени – T и квалификации эксперта (специалиста) – K. Аналитически это можно записать в виде выражения:

$$R = f(I, T, K). \quad (1)$$

Очевидно, что чем большей требуемой информацией может воспользоваться эксперт (специалист), чем большим временем он располагает для уточнения результатов оценки, чем выше его квалификация, тем точнее будет результат оценки. Вместе с тем, решение (мнение) эксперта (специалиста) всегда несёт в себе долю субъективизма. Эта проблема может быть устранена независимой оценкой группой экспертов, но такой подход имеет существенные ограничения с точки зрения практической реализации.



Милосердов С. С.



Матюхин Д. В.

В настоящее время процедура оценки технического уровня ЭКБ определена РМ В 11 20.0014–86 Система управления качеством продукции. Оценка технического уровня изделий электронной техники на этапах разработки.

Проведение оценки технического уровня в современных условиях показало ряд проблемных вопросов, которые, в т. ч. не учтены в РМ В 11 20.0014–86:

- невозможность реализации в настоящее время ряда положений методического аппарата оценки технического уровня, заложенного в РМ В 11 20.0014–86, который не пересматривался более 30 лет (1), (низкие значения показателей I и K в выражении 1);
- отсутствие единого отраслевого перечня важнейших показателей технического уровня изделий ЭКБ (2), (низкое значение показателя I в выражении 1);
- не проработанность учёта в числе оцениваемых показателей характеристик комплектующих и материалов иностранного производства, а также процедур изготовления комплектующих за рубежом (3), (низкое значение показателей T и K в выражении 1);
- недостоверность сведений о значении показателей технического уровня ЭКБ отечественного и иностранного производства (4), (низкие значения показателей I и K в выражении 1);
- единый подход к оценке технического уровня принципиально нового изделия и изделия, предназначенного для замещения продукции иностранного производства (5), (низкие значения показателей I, T и K в выражении 1);
- оценивания технического уровня изделий одной группы, но имеющих разные области применения (6), (низкие значения показателей I и K в выражении 1).



(1) Как уже было указано выше, в качестве методического аппарата оценки технического уровня в отрасли используется РМ В 11 20.0014–86, который предполагает определение изделия для сравнительной оценки экспертным методом. Реализация этого метода предусматривает привлечение группы специалистов в предметной области, которыми устанавливается изделие для сравнения, чьи значения показателей наиболее полно характеризуют достигнутый мировой уровень.

Существенное сокращение промышленного потенциала радиоэлектронной промышленности, произошедшее со времени введения в действие указанного руководящего материала, привело к сокращению сообщества экспертов, которые могли бы проделать такую работу. Кроме того, сам метод экспертных оценок весьма затратен по времени. В современных реалиях в качестве группы экспертов, как правило, выступает сотрудник предприятия-разработчика изделия ЭКБ, которым в качестве сравниваемого изделия выбирается изделие, указанное в техническом задании на опытно-конструкторскую работу как аналог разрабатываемого изделия.

В подобных случаях результат проведенной оценки технического уровня разрабатываемого изделия ЭКБ оказывается не показательным, поскольку выбранное для сравнения изделие иностранного производства уже используется некоторое время в отечественной радиоэлектронной аппаратуре, а значения его показателей уже не (в полной мере) характеризуют мировой уровень.

(2) При проведении оценки технического уровня на этапе приёмки ОКР состав показателей и значения их коэффициентов весомости устанавливаются самим разработчиком оцениваемого изделия исходя из собственных представлений, что несёт в себе много субъективизма. Возможны ситуации, при которых разными разработчиками ЭКБ одного типа могут использоваться как неодинаковая номенклатура показателей, так и значения коэффициентов весомости. Вместе с тем, научно-исследовательские организации (далее – НИО) Минпромторга России и Минобороны России в рамках своей деятельности так же осуществляют оценку технического уровня разработанных изделий ЭКБ. Исходя из разных позиций (определяемых интересами разработчиков и потребителей) эти НИО, используя один и тот же математический аппарат, представленный РМ В 11 20.0014–86, получают различные результаты оценки. В то же время РМ В 11 20.0014–86 содержит рекомендации по разработке и применению при оценке технического уровня ЭКБ «Перечней важнейших показателей технического уровня изделий», содержащих номенклатуру показателей, значения коэффициентов весомости и ряд других сведений. Собственно применение таких перечней предусмотрено и РМ 11 091.424–79 [2]. Разработка, ведение и применение отраслевых «Перечней важнейших показателей технического уровня изделий» может существенно повысить сходимость оценок технического уровня различными экспертами и организациями.

(3) Технический уровень отечественной ЭКБ характеризует технологические возможности отечественной радиоэлектронной отрасли. Оценка технического уровня отечественной ЭКБ определяет место отечественной радиоэлектронной промышленности относительно таких отраслей других стран, способность производить конкурентоспособную продукцию. Однако, в последнее время получило широкое распространение применение в конструкции изделий ЭКБ структур и материалов иностранного производства, а также изготовление основных конструктивных элементов ЭКБ на зарубежных фабриках. Использование такого подхода является общемировой тенденцией. Например, в настоящее время в США только одна из трёх (Microsemi, Semtech, Sensitron Semiconductor) фирм-квалифицированных изготовителей полупроводниковых приборов для специальной радиоэлектронной аппаратуры, Sensitron Semiconductor, обладает полным циклом производства внутри страны ([www.sensitron.com](http://www.sensitron.com), брошюра "Sensitron QPL Do You Know Where Your Diodes Are Made"). Очевидно, что сравнение показателей изделий ЭКБ, разработанной с применением иностранных структур, материалов и технологических мощностей с показателями изделий, разработанными без такового, даёт разные результаты оценки. Для обеспечения достоверности требуемых оценок данный вопрос требует методической проработки. Одним из путей решения указанной проблемы может быть введение новой подгруппы показателей, включающей в том числе длительность производственного цикла, количество технологических операций, выполняемых предприятиями-смежниками, локализация и доступность этих технологических операций и др.

(4) При сравнении показателей технического уровня разрабатываемых изделий ЭКБ с изделиями иностранного производства необходимо учитывать, что:

– надёжность отечественных изделий, как правило, определяется в предельно-допустимых режимах, иностранных – в типовых либо вообще – облегчённых режимах или оценочно;

– отечественные изделия ЭКБ, предназначенные для применения в специальной радиоэлектронной аппаратуре, должны сравниваться с подобными изделиями иностранного производства, сравнение с изделиями коммерческого применения не корректно;

– стойкость отечественных изделий ЭКБ ко всей номенклатуре воздействующих факторов, определённых комплексом государственных стандартов «Климат-8», подтверждена соответствующими протоколами испытаний, стойкость изделий ЭКБ иностранного производства декларирована и подтверждается (в лучшем случае) протоколами испытаний на стойкость к воздействию факторов ограниченной номенклатуры, определяемой аппаратурой применения;

– значения показателей надёжности отечественных изделий ЭКБ зачастую бывает занижена, поскольку они вносятся в техническую документацию по результатам оценки их соответствия техническому заданию на разработку. Проведение испытаний вне рамок опытно-

конструкторских работ не осуществляется уже более 20 лет, и, как следствие, значения показателей большинства отечественных изделий ЭКБ остаются недостоверными (недооценёнными).

(5) В части интерпретации результатов оценки технического уровня необходимо учитывать цели постановки работ, например, в рамках программ импортозамещения. В данном случае именно степень локализации и доступности технологических процессов при производстве разработанных изделий имеет ключевую роль. Кроме того, технические задания на разработку отечественных ЭКБ, как правило, содержат требования по стойкости к воздействию специальных факторов, что накладывает необходимость применения специальных методов проектирования и приводит к неизбежному снижению уровней характеристик относительно изделий иностранного производства, например, массо-габаритных параметров, топологических нормы, быстродействия и др.

В этих случаях требование соответствия уровню лучших зарубежных аналогов изначально не выполнимо (отсутствуют данные по всем эксплуатационным характеристикам, методам и условиям измерения параметров иностранных аналогов и др.), не может являться критерием выполнения требований технического задания и может иметь только информационно-аналитический характер. При этом требование превосходить уровень лучших отечественных аналогов должно сохраняться, но с учётом назначения разработанного изделия, например, бюджетного массового применения.

(6) Оценка технического уровня одной группы изделий, но имеющих различные области применения, должна проводиться с учётом критичности конкретных параметров в том или ином применении. В качестве примера группы оцениваемых изделий приведём микродисплеи на органических светодиодах (OLED), широко применяемых в индивидуальных средствах отображения моно- и бинокулярного типа.

Для авиационных наשלемных систем целеуказания и индикации применяются сверхяркие микродисплеи в монохромном зелёном исполнении, т. к. критична высокая яркость изображения. При этом допускается снижение рабочего ресурса, что учитывается при регламенте обслуживания аппаратуры. Так же необходимо высокое разрешение экрана для возможности цифровой компенсации оптических искажений в системах высокой точности и высокое быстродействие для работы в быстроизменяющихся условиях. При этом параметры энергопотребления системы отображения информации (при бортовом питании) и количество градаций яркости изображения (индикация происходит на максимальной яркости символов) не важно.

В случае применения в портативных приборах, например, в тепловизионных прицелах, где используются монохромные белые или полноцветные микродисплеи, высокая яркость, напротив, не нужна и приводит к демаскировке, способствует излишнему энергопотреблению и значительному снижению рабочего ресурса прибора при работе от автономных источников питания. В то же время, особенно критично

сохранение количества градаций при ограничении максимальной яркости экрана, что определяет основной параметр прибора – обнаружительную способность объектов при низком контрасте изображения. При этом быстродействие и высокое разрешение экрана имеет второстепенный характер, т. к. частота кадров тепловизионных матриц, как правило, не превышает 30 Гц, а количество элементов отображения – 640 x 512 пикселей.

Весовые коэффициенты для параметров указанных OLED микродисплеев, входящих в одну группу, но имеющих различное назначение, необходимо определять независимо, иначе результат оценки может быть диаметрально противоположный требуемому уровню изделия. Такой подход может быть актуален к широкой номенклатуре ЭКБ, таких как лазерные диоды, микросхемы памяти, микропроцессоры и др.

### **Заключение**

По нашему мнению, решение рассмотренных вопросов возможно по трём направлениям: организационном, информационном и техническом.

Разработка отраслевых «Перечней важнейших показателей технического уровня изделий» должна быть осуществлена с привлечением всех заинтересованных сторон, планирующих их применение, а так же включать чёткую методику определения важнейших показателей, не включённых в число характеристик, приводимых в Перечне ЭКБ, что особенно важно для изделий, основанных на новых физических принципах. При этом в развитие РМ В 11 20.0014–86 наряду с показателями функционирования, объёмно-весовыми и конструктивно-технологическими показателями в качестве показателей технического уровня использовать удельные характеристики изделий ЭКБ.

Практика продолжения длительных испытаний после окончания разработки изделий ЭКБ должна быть возобновлена. При этом в качестве источника финансирования этих испытаний целесообразно использовать бюджет органа исполнительной власти, осуществляющего разработку и эксплуатацию радиоэлектронной аппаратуры.

В техническом плане представляется целесообразным расширение функционала действующих ведомственных информационно-аналитических систем автоматизированной оценкой технического уровня.

Технический уровень изделий, для которых заданы высокие требования по стойкости к воздействию специальных факторов, должен сравниваться только с изделиями иностранного производства категории «space».

В сложившихся условиях, например, для работ, выполненных в рамках экстренного импортозамещения, оценка технического уровня должна носить только информационно-аналитический характер. Полученная информация должна учитываться, в т. ч. в автоматизированных системах НИО при планировании мероприятий по развитию радиоэлектронной отрасли на последующие периоды.

### **Литература**

1. ГОСТ РВ 0020–39.412–2020. Комплексная система общих технических требований. Изделия

электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Общие технические требования: дата введения 2020-03-27 /Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – М.: Стандартиформ, 2020. – 50 с.

2. РМ 11 091.424–78. Система управления качеством. Оценка технического уровня укрупнённых классификационных групп

изделий электронной техники: дата введения 1980-20-01. – Изд. официальное. – Ленинград: Электронстандарт, 1980. – 29 с.

3. Милосердов С. С., Афанасьев А. С., Боков С. И. Методический подход к оценке технического уровня отечественной ЭКБ. Международный форум «Микроэлектроника 2019». Электронная компонентная база и электронные модули. Сб. тезисов. Алушта, 2019. – М.: Техносфера, 2019. – С. 286–290.

УДК 53.043

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ВАКУУМНЫЕ КОММУТИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

### INFLUENCE OF IONIZING IRRADIATION FOR VACUUM SWITCHING DEVICES

Петров А. С., к. т. н., АО «НИИП»; +7 (495) 663–90–95, aspetrov@niipribor.ru

Petrov A. S., candidate of technical sciences, JSC "NIIP"; +7 (495) 663–90–95, aspetrov@niipribor.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные процессы, протекающие в вакуумных коммутационных устройствах при воздействии ионизирующих излучений. Проведён анализ особенностей вакуумных коммутационных устройств, определяющих их радиационное поведение.

**Annotation.** The article presents an overview of the main processes occurring in vacuum switching devices when exposed to ionizing radiation. The analysis of the features of vacuum switching devices that determine their radiation behavior is carried out.

**Ключевые слова:** вакуумные коммутационные устройства, ионизирующие излучения, радиационная стойкость.

**Keywords:** vacuum switching devices, ionizing radiation, radiation hardness.

#### Введение

Вакуумные коммутационные устройства (далее – ВКУ) (реле, выключатели и переключатели) являются одним из востребованных радиокомпонентов, современные образцы которых представлены на рис. 1.

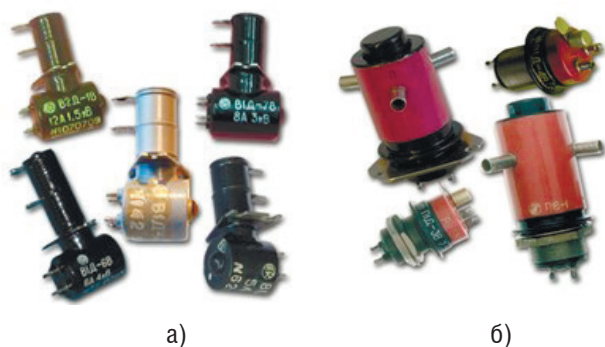


Рис. 1. Современные образцы ВКУ:  
а – выключатели; б – переключатели

Конструкция ВКУ (рис. 2) представляет собой вакуумную камеру, состоящую из металлокерамического корпуса, механизма перемещения подвижного контакта (замыкателя) и привода поляризованного типа (электромагнита). Контактная система состоит из двух неподвижных и одного подвижного контактов, расположенных с заданным зазором относительно друг друга



Петров А. С.

внутри металлокерамической оболочки, в объёме которой создан высокий вакуум, служащий рабочим диэлектриком переключателя.

В случае если условия применения ВКУ предполагают потенциальное воздействие ионизирующих излучений (далее – ИИ), необходимо точно оценивать их радиационную стойкость. Несмотря на то, что ВКУ не содержат в своём составе полупроводниковых элементов, особенности их конструкции требуют учёта различных эффектов, возникающих при воздействии ИИ.

#### Основная часть

Радиационная стойкость ВКУ определяется, в основном, следующими процессами: увеличением токов утечки в межэлектродном промежутке,



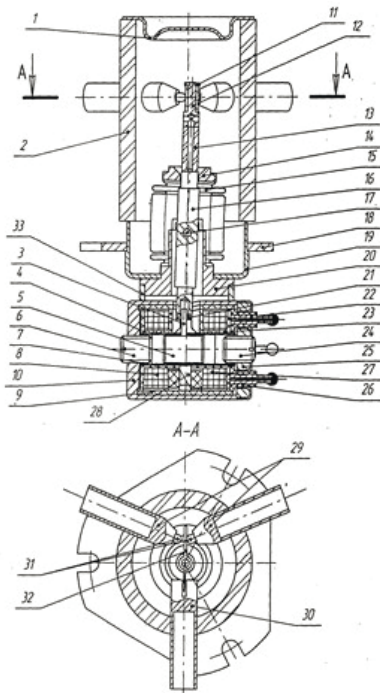


Рис. 2. Конструкция ВКУ:

1 – заглушка; 2 – корпус; 4, 23 – каркас; 5 – сердечник; 6, 24 – винты;  
7 – трубка; 8, 27 – катушки; 9 – цилиндр; 10 – труба; 11 – шайба;  
12 – втулка; 13 – кольцо керамическое; 14 – кольцо; 15 – сиффон;  
16 – шток; 17 – ось; 18 – фланец; 19 – стакан; 20 – втулка;  
21 – шайба; 22 – вывод; 25 – заглушка; 26 – изолятор; 28 – магнит;  
29, 30 – выводы; 31 – контакт; 32 – контакт подвижный; 34 – цилиндр

изменением проводимости изоляционных материалов, возникновением радиационно-наведённых потенциалов и токов, изменением вакуума и появлением электрической эрозии. При проведении испытаний ВКУ на воздействие ИИ необходимо учитывать эти процессы, поэтому возникает необходимость их детального рассмотрения для оценки степени влияния на радиационную стойкость ВКУ.

Электрофизические характеристики материалов ВКУ изменяются при воздействии облучения в результате ионизации атомов молекул вещества, нарушения их структуры, а также в результате протекания вторичных физико-химических процессов в материалах. При этом могут иметь место как временные (обратимые), так и постоянные (необратимые или остаточные) изменения. Обратимые изменения, как правило, являются следствием ионизации материалов и окружающей среды. Они проявляются в увеличении концентрации носителей заряда, приводящей к возрастанию токов утечки и повышению проводимости материалов. Необратимые повреждения происходят вследствие изменения структуры вещества. Наиболее подвержены изменению электрофизические характеристики диэлектриков.

Диэлектрические материалы, используемые в конструкции ВКУ, а также окружающий их воздух под влиянием процессов ионизации изменяют свои изоляционные свойства, при этом происходит увеличение проводимости диэлектриков. Рост электропроводности вызывает увеличение токов утечки, величина которых в процессе облучения зависит от приложенного напряжения [1, 2].

Кроме ионизационных токов, которые возникают вследствие изменения концентрации носителей заряда, существует механизм появления электрических сигналов в ВКУ, связанный с переносом электрических зарядов быстрыми заряженными частицами и появлением переменных электромагнитных полей при движении этих частиц [2]. Такие эффекты называют радиационно-наведёнными потенциалами и токами. Ионизационные токи протекают под влиянием приложенных внешних электрических полей. Радиационно-наведённые токи протекают под воздействием потенциала, возникающего непосредственно в процессе облучения. Поэтому учёт этих эффектов особенно важен в ВКУ, находящихся в обесточенном (пассивном) состоянии в момент воздействия ИИ.

Экспериментальные исследования наведённой проводимости в диэлектриках при различных мощностях доз ( $0,01 \div 10^8$  P/c) обычно показывают линейную зависимость радиационного тока утечки от приложенного напряжения. Во время облучения вольтамперная характеристика (далее – ВАХ) изоляционного материала не всегда проходит через начало координат. Для примера на рис. 3 приведены ВАХ некоторых изоляционных материалов при рентгеновском облучении [2].

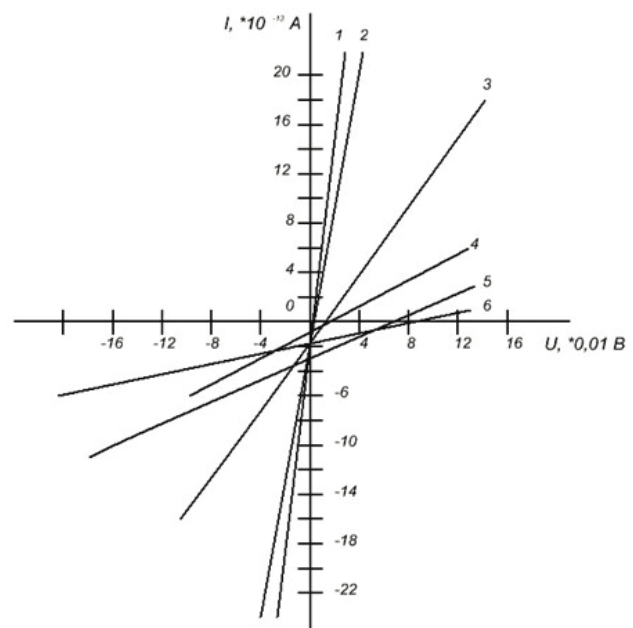


Рис. 3. ВАХ твёрдых диэлектриков при рентгеновском облучении  
( $n = 120$  имп/мин;  $T = 30$  °C; толщина образцов  $d$ ):

1 – сера,  $d = 0,025$  см; 2 – фторопласт,  $d = 0,1$  см; 3 – полиэтилен,  
 $d = 0,3$  см; 4 – слюда,  $d = 0,015$  см; 5 – оргстекло,  $d = 0,45$  см;  
6 – полистирол,  $d = 0,5$  см

Радиационно-наведённые и ионизационные токи возникают на разных этапах передачи энергии вторичных заряженных частиц веществу. На первом этапе, когда вторичные заряженные частицы (комптоновские электроны, ядра отдачи и др.) имеют большие энергии и сохраняют преимущественную направленность своего движения в веществе, часть их энергии идёт на образование радиационно-наведённых потенциалов и токов. На заключительном этапе, когда

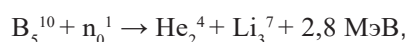
энергия вторичных заряженных частиц рассеялась между большим количеством атомов и первоначальная направленность движения утеряна, эта энергия идёт, в основном, на ионизацию. Оба этих этапа проходят за очень короткое время по сравнению с длительностями облучения. Поэтому расчёт поведения ВКУ в условиях воздействия ИИ должен учитывать обе группы явлений.

При импульсном гамма-облучении (подобные эффекты могут возникать и при облучении нейтронами, но имеют меньшую величину) в любой системе, состоящей из металлических электродов, разделённых вакуумом, на электродах возникает электрический сигнал. Этот сигнал может иметь полярность любого знака, его полярность и величина зависят от конструкции системы, энергетического спектра и направленности гамма-излучения.

Расчёт величины радиационно-наведённых токов в системах металл-вакуум, состоящий в нахождении переноса потоков заряженных частиц, является достаточно сложным, а теории появления радиационно-наведённых токов в системах металл-диэлектрик с учётом поляризации диэлектрика не доведены до количественных расчётных методик.

Во многих случаях радиационно-наведённые токи меньше по своей величине, чем ионизационные токи, которые протекают под влиянием приложенных электрических напряжений. Однако радиационно-наведённые токи становятся определяющими в тех случаях, когда аппаратура находится в обесточенном состоянии и когда интенсивности излучений настолько велики, что радиационно-наведённые потенциалы превышают величину приложенных напряжений в системе металл-вакуум. Однако, представляется, что это характерно только для высоких мощностей доз (более  $10^{11}$  Р/с).

Несмотря на высокую радиационную стойкость керамики и стекла как в металлокерамических, так и в стеклянных (не содержащих бора) корпусах ВКУ, при гамма-нейтронном облучении за счёт выделения технологических газов из баллона и электродов, а также вследствие ядерных реакций нейтронов с материалами вакуумной оболочки и электродами происходит ухудшение вакуума с  $10^{-6}$  до  $10^{-5}$  Тор при флюенсах  $10^{14}$ – $10^{15}$  нейтрон/см<sup>2</sup> [3]. У боросодержащих стёкол за счёт интенсивного взаимодействия изотопа  $B_5^{10}$  с тепловыми нейтронами (сечение взаимодействия 4010 барн), описываемого реакцией:



с увеличением флюенса нейтронов наблюдается значительное усиление газовыделения, причём 90–95 % от общего количества выделившегося газа составляет гелий. Ухудшение вакуума означает увеличение концентрации носителей тока в объёме ВКУ, что может привести к росту токов утечки.

Кроме того, при воздействии тепловых нейтронов на стёкла с флюенсом  $10^{15}$ – $10^{16}$  нейтрон/см<sup>2</sup> могут изменяться их механические свойства, приводящие к увеличению напряжения в смях и растрескиванию.

В результате проведения экспериментальных исследований изменений вакуума в баллоне ВКУ [4] не было обнаружено изменений вакуума при облучении

до дозы  $10^8$  Р и при импульсном нейтронном облучении до значений флюенса  $10^{14}$  нейтрон/см<sup>2</sup>. При статическом нейтронном облучении давление у всех типов приборов начинало изменяться при флюенсах порядка  $(1\div 5) \cdot 10^{13}$  нейтрон/см<sup>2</sup>.

Более детально изменение вакуума исследовано с помощью электронно-лучевых трубок, позволяющих за счёт большого собственного объёма напайку внешних стандартных манометрических датчиков. Результаты этих исследований показали, что воздействие статического гамма-нейтронного излучения приводит к возрастанию общего давления в приборах. Более того, при этом происходит необратимый процесс, давление в приборах, извлечённых из зоны облучения, при хранении в нормальных климатических условиях в течение 6–10 суток продолжает возрастать. Приборы, изготовленные с применением безборного стекла, сохраняют вакуум несколько лучше (на 15–20 %), чем приборы, баллоны которых изготовлены из боросодержащего стекла [5]. Полученные результаты будут, очевидно, справедливыми и для ВКУ.

Воздействия импульсных ИИ на ВКУ, вызывающие пробой межэлектродного промежутка, также могут вызывать электрическую эрозию электродов, т. е. разрушение их материала [6]. Разрушение поверхности электродов может быть вызвано действием электрических разрядов, сквозного тока или их совместным действием, возникающих при импульсном облучении. Однако заметного влияния этого эффекта на стойкость ВКУ можно ожидать только при протекании больших токов. В общем случае его можно не учитывать.

### Заключение

В статье рассмотрены основные процессы, протекающие в ВКУ при воздействии ионизирующих излучений, а также проведён анализ особенностей вакуумных коммутирующих устройств, определяющих их радиационное поведение. Показано, что при проведении оценки радиационной стойкости ВКУ к воздействию ИИ для получения адекватных результатов крайне необходимо учитывать особенности исследуемых объектов.

### Литература

1. Мырова Л. О., Чепиженко А. З. Обеспечение радиационной стойкости аппаратуры связи. – М.: Радио и связь, 1983. – 216 с.
2. Горячева Г. А., Шапкин А. А., Ширшев Л. Г. Действие проникающей радиации на радиодетали. – М.: Атомиздат, 1971. – 113 с.
3. Радиационная стойкость изделий электронной техники: справочник Радиационные эффекты в изделиях / под общей ред. В. М. Валькова и В. П. Балашова. – 1981.
4. Востров Г. А., Розанов Л. Н. Вакуумметры. – Л.: Машиностроение, 1967. – 235 с.
5. Экспериментальное исследование влияния излучения на вакуумную плотность стеклооболочек ЭПТ / А. И. Гербин, Н. Н. Карпов, Ю. М. Кузьмин, А. Ш. Шарипов // Военная радиоэлектроника. – 1981. – Т 1. Вып. 3 (408). – С. 74–79.
6. Намитоков К. К. Электроэрозионные явления. – М.: Энергия, 1978. – 456 с.

## НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЁННЫЕ ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОШИБОЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РЕГУЛЯТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

### MOST COMMON REASONS OF THE FALSE MEASUREMENT RESULTS THROUGH THE EXAMPLE OF VOLTAGE REGULATORS ELECTRICAL PARAMETERS TESTING

Евстигнеев А. А., Самойленко С. В. ООО «ГК «СНАБЖЕНИЕ»; evstigneev@gksnab.ru, samoilenko@gksnab.ru  
Evstigneev A. A., Samoilenko S. V. "Snabzheniye" company group Ltd., evstigneev@gksnab.ru, samoilenko@gksnab.ru

**Аннотация.** В статье приводится обобщение инженерного опыта, полученного при проведении параметрического контроля различных регуляторов напряжения. Анализируются распространённые ошибки в подготовке и процессе измерений, приводящие к неточным результатам и, как следствие, некорректной разбраковке изделий. Предлагаются способы и приёмы, позволяющие избежать рассмотренных ошибок и сделать измерения более точными.

**Annotation.** The article describes the engineers' experience of different voltage regulators electrical parameters testing. Most common mistakes of measurement preparation and process that cause false results and device rejecting are analyzed. Some methods and tricks to avoid these mistakes are given.

**Ключевые слова:** параметрический контроль, регуляторы напряжения, подготовка измерений, расчёт результатов косвенных измерений, технологическая оснастка, температурная нестабильность, ZIF-панели.

**Keywords:** parametrical testing, voltage regulators, measurement preparations, indirect measurement result calculation, testing hardware, temperature instability, ZIF sockets.

#### Введение

Современная электроника немыслима без узлов и каскадов, осуществляющих то или иное преобразование параметров электрического питания – как правило постоянного напряжения. Основными компонентами таких узлов обычно являются интегральные микросхемы преобразователей питания – линейные и импульсные (switching) регуляторы, DC-DC преобразователи. Всех их объединяет выполняемая задача – превратить постоянное входное напряжение известных параметров в выходное с требуемыми характеристиками. В общем и целом, любой преобразователь питания характеризуется следующими параметрами:

- выходное напряжение (output voltage) и изначальная точность его установки;
- нестабильность по напряжению (line regulation). Величина, характеризующая точность поддержания выходного напряжения в зависимости от изменений входного;
- нестабильность по току (load regulation). Параметр отражает способность устройства поддерживать выходное напряжение постоянным в зависимости от тока нагрузки;
- собственный ток потребления (current consumption) регулятора, прямо не связанный с током нагрузки;
- падение напряжения (voltage dropout) [1]. Этот параметр характерен только для линейных регуляторов, условием стабильной работы которых является превышение входного напряжения над выходным на некоторую минимальную величину, которая и характеризуется падением напряжения.

В практике проведения параметрического контроля таких компонентов-преобразователей напряжения нередки случаи, когда анализ результатов измерения заведомо исправного компонента выдаёт несоответствие измеренного значения границам



Евстигнеев А. А.



Самойленко С. В.

разбраковки, заявленным производителем. Это может происходить по самым разнообразным причинам и особенностям, которые необходимо учитывать при проведении параметрического контроля. Некоторые из них будут рассмотрены в дальнейшем.

#### Подготовка к измерениям

Прежде чем приступить к измерениям, необходимо чётко представлять, какие именно величины исследуются и каким образом полученные экспериментальные данные будут обрабатываться. Наиболее удобными для инженера и испытателя вариантами являются прямые измерения, т. е. измерения без какого-либо пересчёта и обработки. Например, когда выходное напряжение и его нестабильности измеряются непосредственно в вольтах, не допуская альтернативных трактовок. К сожалению, это бывает не всегда – нестабильности выходного напряжения очень часто указываются в относительных единицах – процентах, миллионных долях (ppm), В/мВ (или В/А), %/В (или %/А) и т. д.



Формулы для расчёта зачастую не приводятся – так, например, фирма Microchip на своем официальном сайте [2, 3] (но не в документации) указывает следующие формулы для расчёта коэффициентов нестабильности по напряжению  $K_{ui}$  и току  $K_{io}$ :

$$K_{ui} = 100\% \cdot \left( \frac{V_{o1} - V_{o2}}{V_{i1} - V_{i2}} \right), \quad (1)$$

$$K_{io} = 100\% \cdot \left( \frac{V_{oi2} - V_{oi1}}{V_{oi2}} \right), \quad (2)$$

где  $V_i$  – максимальное и минимальное входные напряжения;  $V_{oi}$  – напряжения при максимальном и минимальном (обычно нулевом) нагрузочном токе, а  $V_o$  – соответствующие им выходные напряжения. В данном случае коэффициенты относительные и не имеют размерности.

Другая фирма-производитель (Analog Devices) указывает для компонента ADP7102 [4] размерность «%/В» и «%/А» без каких-либо расчётных формул при том, что обозначения коэффициентов « $\Delta V_{out} / \Delta V_{in}$ » и « $\Delta V_{in} / \Delta I_{out}$ » предполагают размерность В/В и В/А соответственно. Можно предположить, что в данном случае речь идёт о точности выходного напряжения относительно номинального выходного напряжения и коэффициенты нестабильности должны рассчитываться так:

$$K_{ui} = 100\% \cdot \left( \frac{V_{o1} - V_{o2}}{V_{nom} \cdot (V_{i2} - V_{i1})} \right), \quad (3)$$

$$K_{io} = 100\% \cdot \left( \frac{V_{oi1} - V_{oi2}}{V_{nom} \cdot (I_1 - I_2)} \right), \quad (4)$$

где применены аналогичные формулам (1) и (2) буквенные обозначения;  $V_{nom}$  – номинальное выходное напряжение;  $I_1$  и  $I_2$  – максимальный и минимальный токи нагрузки. Но узнать точность этого предположения, опираясь исключительно на документацию, не представляется возможным.

Для DC-DC конвертеров, таких как серия AM1S-Z [5] (фирма-производитель Aimtec), можно встретить и более необычные размерности – так, нестабильность по напряжению указывается в % от входного напряжения ( $V_{in}$ ) при условии, что входное напряжение меняется на 1%. Т. е., формула для расчёта может выглядеть следующим образом:

$$K_{io} = 100\% \cdot \left( \frac{V_{oi1} - V_{oi2}}{V_{in}} \right). \quad (5)$$

При этом совершенно неочевидно, относительно какого именно входного напряжения  $V_{in}$  (изначального или отличающегося на 1%) необходимо рассчитывать нестабильность, хотя их различие в 1% и не должно приводить к значительно отличающимся результатам.

Необычная формула расчёта, внешне схожая с (2), применяется в DC-DC конвертерах серии DCP02 [6], но минимальный ток нагрузки предполагается в 10% от максимального (а не нулевой), а в знаменателе выражения вместо напряжения при максимальной нагрузке – напряжение при нагрузке на 75%.

Завершая обзор различных способов расчёта коэффициентов нестабильности, отметим, что отечественный ГОСТ 26949–86 [7] («Методы измерения электрических параметров непрерывных стабилизаторов

напряжения») однозначно предписывает расчёт по формулам (3 и 4).

Для такого актуального для линейных регуляторов параметра, как падение напряжения, обычно предполагается следующая процедура измерений. Входное напряжение  $V_{in}$ , начинаясь от некоторого значения  $V_{in1}$ , снижается до некоторого значения  $V_{in2}$  до тех пор, пока выходное напряжение  $V_{out2}$  не станет меньше номинального  $V_{out0}$  (измеренного при  $V_{in2} < V_{in0} < V_{in1}$ ) согласно заданному критерию – обычно это «98% от  $V_{out0}$ » или « $V_{out0}$  минус 100 мВ». Падение напряжения рассчитывается как  $V_{in2} - V_{out2}$ . Но иногда встречается упрощённая методика, которая на самом деле лишь усложняет измерения.

Так, например, серия линейных регуляторов REF191-198 [8] (Analog Devices) предлагает измерять падение напряжения как разницу между заданным  $V_{in}$  и измеренным  $V_{out}$ . Для регулятора с номинальным  $V_{out} = 3$  В (REF193) при  $V_{in} = 3,8$  В и нагрузочном токе 10 мА, падение напряжения, согласно документации, составляет не более 0,8 В.

Проблема заключается в том, что по данным той же документации –  $V_{out}$  для этого изделия может составлять от 2,990 до 3,010 В. В первом случае корректно измеренное и рассчитанное падение напряжения составит 0,810 В, что больше верхней границы 0,8 В и явно исправное изделие подлежит отбраковке по этому параметру. Какую цель преследовал производитель, указывая такие жёсткие и противоречивые характеристики, – неизвестно.

Перечисленные примеры свидетельствуют о том, что к формированию программы проведения измерений и обработки результатов даже для относительно несложных изделий нужно подходить со всей тщательностью, чётко представляя весь процесс и внимательно изучая документацию. И если автоматизированный измерительный стенд под управлением программы подозрительно часто отбраковывает изделия, это повод в первую очередь проверить – правильно ли производятся расчёты результатов косвенных измерений?

#### Разработка технологической оснастки

Задачей измерительной технологической оснастки является связь объекта измерений (изделия) со средствами измерения. Иногда эта задача формулируется как «неискажённая передача электрических сигналов», но, поскольку любые элементы связи вносят те или иные искажения, можно ограничиться утверждением, что эти искажения должны быть или пренебрежимо меньше требуемых точностных характеристик средств измерения, или контролироваться с требуемой точностью.

В практике разработки технологических оснасток заслуженной популярностью пользуются многоцветные контактирующие устройства (ZIF панели, рис. 1), их преимущества невозможно переоценить. Разработать и изготовить универсальную технологическую оснастку многоцветного применения с необходимыми для обеспечения рабочего режима электронными компонентами – быстрее и дешевле, чем монтировать каждый измеряемый компонент на свою специально изготовленную оснастку. Кроме того,

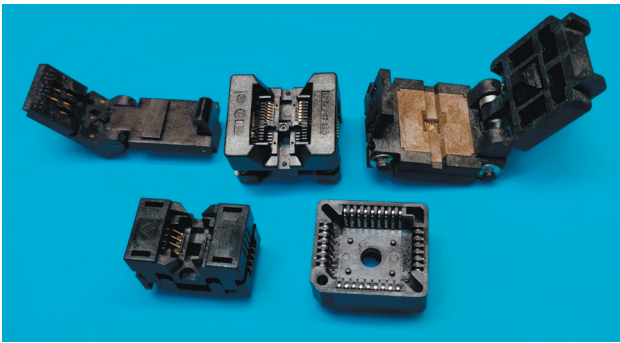


Рис. 1. ZIF-панели для различных корпусов изделий

традиционный монтаж измеряемого изделия путём пайки делает практически невозможным последующее использование этого компонента по назначению, не давая тем самым возможности проведения 100 % контроля всей партии.

Однако, у ZIF-панелей есть существенный недостаток – между испытываемым изделием и измерительными приборами возникает дополнительное сопротивление пружинного контакта. Чаще всего оно практически незаметно с точки зрения пользователя – для ZIF панели 652B0082211 производства фирмы «Wells CTI» [9] (на рис. 1, слева внизу), совместимой с популярнейшим типом корпусов SOIC-8, оно оставляет не более 30 МОм – величину, казалось бы, пренебрежимо малую. Но если речь идёт об измерении нестабильности по току, то для тока нагрузки 1 А падение напряжения на таком контакте может составлять до 30 мВ. При этом, например, регуляторы серии BAxxBC0 [10] («ROHM Semiconductor») характеризуются нестабильностью выходного напряжения при токах нагрузки от 0 до 1 А не более 75 мВ, что сравнимо с потерями на контакте. Регулятор LTM4611 [11] («Analog Devices») имеет заявленную нестабильность по току в 7,5 мВ при токе до 15 А – т. е., при максимальной нагрузке каждый неучтённый миллиом контакта добавит целых 20 % к измеряемой величине. На рис. 2 показано изменение выходного напряжения на сопротивлении контакта при выходном токе 1 А в разных частях составной технологической оснастки для типового изделия – регулятора L7805 в корпусе TO-220. Заметно, что основной вклад вносит сопротивление контакта между изделием и ZIF-панелью технологической оснастки, тогда как сопротивление всей остальной части стенда, включая контакт между технологической оснасткой и платой стенда, значительно (почти на порядок) меньше.

Снизить влияние сопротивления контактов на результаты измерений можно следующими способами:

- применять высококачественные ZIF-панели с различными покрытиями контактов драгоценными металлами и их сплавами, что уменьшит сопротивление контакта и увеличит его износостойкость;

- улучшить контакт за счёт конструкции технологической оснастки – задействовать максимальное количество выходных выводов компонента или подключать клемму нагрузки непосредственно к массивному выходному контакту при его наличии, например, винтовым зажимом на радиатор корпуса TO-220;

- перед началом измерений производить процедуру калибровки технологической оснастки, измеряя сопротивление контактов с требуемой точностью и внося соответствующую поправку при обработке результатов измерений. Сопротивление контакта удобнее всего измерять через известный ток и падение напряжения в интересующих точках – например, на выводе изделия и точке подключения средства измерения (см. рис. 2);

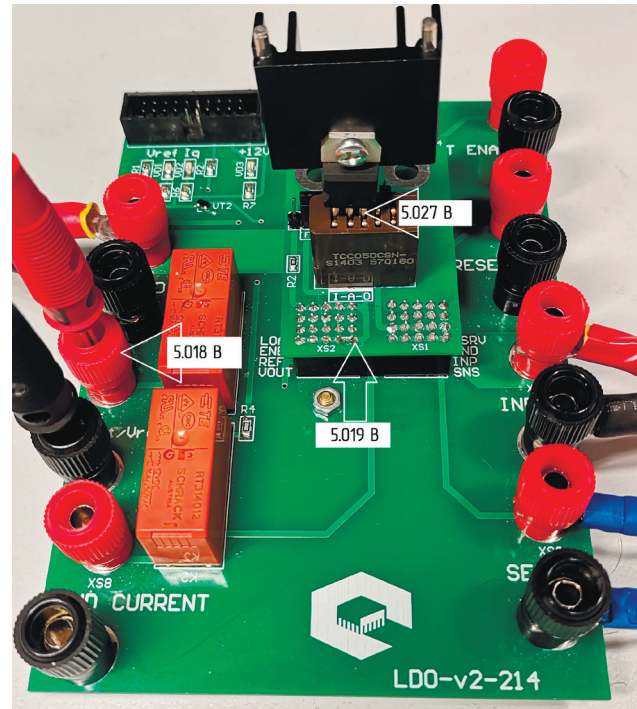


Рис. 2. Падение напряжения на сопротивлении контактов в измерительном стенде

- если это допустимо технической документацией фирмы-производителя и требованиями заказчика – избегать прямых и косвенных измерений, связанных с выходным напряжением на высоких токах, когда падение напряжения на контактах будет составлять величины, сравнимые с измеряемыми;

- если ни один способ из вышеперечисленных неприменим – отказаться от использования многоразовых контактирующих устройств и монтировать измеряемый компонент при помощи пайки на собственную технологическую оснастку.

Кроме устройств, отвечающих непосредственно за обеспечение электрического контакта с измеряемым изделием, следует обратить особое внимание и на компоненты, обеспечивающие требуемый электрический режим. В одной и той же серии регуляторов встречаются как изделия с фиксированным выходным напряжением стандартного номинала (+2,5 В; 3,3 В; +5 В), так и настраиваемые (adjustable) внешними резисторами регуляторы. В качестве примера возьмём регулятор TPS75901 [12] от фирмы Texas Instruments (рис. 3), производитель которого обещает точность поддержания выходного напряжения ( $V_o$ ) в диапазоне рабочих температур 0..+125 °С от 0,98 до 1,02  $V_o$ .

или  $\pm 2\%$ . Выходное напряжение рассчитывается по следующей формуле:

$$V_o = V_{ref} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right), \quad (6)$$

где  $V_{ref}$  – внутреннее опорное напряжение (для TPS79501 типичное значение 1,224 В), а  $R_1$  и  $R_2$  – сопротивления внешнего делителя напряжения. Для номиналов из стандартного ряда резисторов  $R_1 = 16,9$  кОм и  $R_2 = 10$  кОм выходное напряжение составит 3,292 В, что отличается от стандартного номинала 3,3 В незначительно – на 0,23 %.

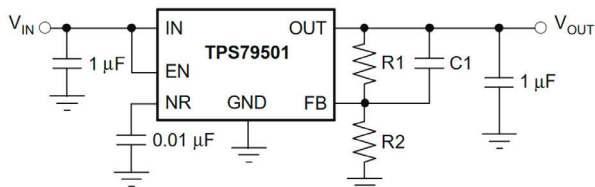


Рис. 3. Типовая схема подключения регулятора TPS79501

Если же допустить максимальный разброс сопротивления резисторов в 1 % от номинала (как наиболее типичных), то выходное напряжение может составлять от 3,272 до 3,313 В – т. е., от +0,85 % до -0,4 %. Величина, вполне сравнимая с изначальным допуском в  $\pm 2\%$ , которая может к нему добавиться и вывести результат измерений пригодного изделия за границы разбраковки. Чтобы избежать подобного эффекта, следует:

- использовать в задающих режим делителях резисторы с минимальными отклонениями, обязательно контролируя при этом результат высокоточным омметром;

- по возможности вообще избегать измерения выходного напряжения настраиваемых регуляторов, предпочитая ему замер опорного напряжения  $V_{ref}$  с вывода обратной связи (feedback, FB), соединяемого со средней точкой делителя. Это напряжение вырабатывается в самом регуляторе и не зависит от внешних элементов. В частности, иногда допустимо соединить вывод обратной связи непосредственно с выходом регулятора, реализовав в выражении (6) и на схеме рис. 3  $R_1 = 0$ ,  $R_2 = \infty$  и, следовательно,  $V_o = V_{ref}$ .

Следует также иметь в виду и другие аспекты, связанные с влиянием задающего резисторного делителя:

- опорное напряжение может указываться как относительно выхода (LM117, Texas Instruments) [13], так и относительно общего проводника (LMR14050, Texas Instruments) [14]. Если не менять точку подключения общего провода вольтметра, то в первом случае для вычисления опорного напряжения потребуется ещё и измерение выходного напряжения;

- распространённый способ измерения тока потребления регулятора подразумевает замер тока, протекающего через общий вывод (GND). Но при этом с выхода регулятора через резисторный делитель также течёт ток через общий вывод, равный  $V_o / (R_1 + R_2)$ . Его также необходимо учитывать при измерениях тока потребления регулятора. Малой

частью этого тока (единицы мкА и менее), уходящей в регулятор через вывод обратной связи, обычно можно пренебречь.

### Процесс измерений

При проведении непосредственно самих измерений электрических параметров главной сложностью является обеспечение стабильности теплового режима компонентов, на чём всегда акцентируется внимание в документации – все заданные границы разбраковки справедливы только при указанной и соблюдаемой температуре изделия. Чем меньше корпус компонента и чем выше нагрузочные токи, тем более вероятно, что за счёт самостоятельного нагрева параметры изделия выйдут за пределы разбраковки вплоть до отключения по перегреву (thermal shutdown) или даже выхода его из строя. И здесь проявляется второй недостаток упоминавшихся ранее ZIF-панелей – практически отсутствующий отвод тепла от компонента, что особенно негативно сказывается на компонентах, у которых нижняя поверхность предназначена для напайки на плату (thermal pad). Здесь могут помочь следующие приёмы:

- минимизировать время измерений (импульсный режим) и время между измерениями отдельных параметров, что в некоторых случаях прямо рекомендовано самой фирмой-производителем. Как правило, процесс измерений затягивается из-за накопления отсчётов, призванного снизить случайную погрешность измерений. Применение быстродействующих измерительных приборов и оптимизация управляющих программ могут обеспечить необходимый минимум случайной погрешности при общем времени замера в доли секунды – за такое малое время измеряемый компонент зачастую не успевает выйти из начального теплового режима;

- тем или иным конструктивным способом обеспечить теплоотвод. Этого можно достичь как применением внешних радиаторов, временно монтируемых на компонент, так и воздушным (обдув) или жидкостным охлаждением. Капля легкокипящей жидкости (спирт, эфир), помещённая на поверхность измеряемого компонента, за счёт испарения отберёт от него излишнее тепло и не позволит нагреться выше температуры кипения за краткое время измерений. В особых случаях изделие совместно с ZIF-панелью может целиком помещаться в термостатирующую диэлектрическую жидкость (трансформаторное масло, глицерин);

- изменить режим измерений на более щадящий с точки зрения выделяемого на изделии тепла;

- отказаться от использования ZIF-панелей. При этом следует иметь в виду, что монтаж компонента на печатную плату путём пайки сам по себе не влияет на отвод тепла, поэтому при проектировании печатной платы необходимо предусмотреть тепловой контакт компонента с рассеивающими тепло металлизированными областями платы (полигонами), которые должны иметь достаточную площадь.

### Заключение

Всё многообразие затруднений, с которым может столкнуться специалист по подготовке или проведению



испытаний, не исчерпывается рассмотренными выше и вряд ли вообще может быть полностью описано при постоянно совершенствующейся электронно-компонентной базе и измерительной технике, постоянно ставящей новые задачи. Тем не менее, наиболее распространённые причины некорректных измерений обычно сводятся к следующим:

- неверная интерпретация документации, ведущая к некорректному заданию рабочих режимов и расчёту результатов косвенных измерений параметров;

- неучтённое влияние измерительной технологической оснастки и контактирующих устройств на измеряемые величины;

- температурные нестабильности, возникающие в процессе измерений.

Перечисленные особенности были рассмотрены на примере регуляторов напряжения, однако в данных выше формулировках они могут быть распространены и на другие электронные компоненты. Их учёт позволяет существенно сузить круг поиска возможных причин некорректных измерений и, в конце концов, устранить или проконтролировать их, сделав измерения более точными – это и является одной из приоритетных целей параметрического контроля.

### Литература

1. Jerome Patoux. Low-Dropout Regulators / Analog Dialogue Vol. 41 Num. 2, May 2007 URL: [https://www.eetree.com/wiki/\\_media/volume41-number2.pdf](https://www.eetree.com/wiki/_media/volume41-number2.pdf) (дата обращения: 24.08.2022).

2. Microchip Developer Help-Line Regulation. URL: <https://microchipdeveloper.com/asp0107:line-regulation> (дата обращения: 24.08.2022).

3. Microchip Developer Help-Load Regulation.

URL: <https://microchipdeveloper.com/asp0107:load-regulation> (дата обращения: 24.08.2022).

4. ADP7102 datasheet. URL: <https://www.farnell.com/datasheets/2256318.pdf> (дата обращения: 24.08.2022).

5. AM1S-Z series datasheet. URL: <https://aimtec.com/site/Aimtec/files/Datasheet/HighResolution/AM1S-Z.pdf> (дата обращения: 24.08.2022).

6. DCP02 series datasheet. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/dcp020503.pdf> (дата обращения: 24.08.2022)

7. ГОСТ 26949-86. Микросхемы интегральные. Методы измерения электрических параметров непрерывных стабилизаторов напряжения. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294827/4294827594.pdf> (дата обращения: 24.08.2022).

8. REF19x series Datasheet. URL: <https://www.farnell.com/datasheets/311853.pdf> (дата обращения: 24.08.2022).

9. ZIF панель 652B0082211-002. Габаритный чертеж и основные характеристики. <https://www.chipstar.ru/download/janus/652B0082211-002.pdf> (дата обращения: 24.08.2022).

10. BAxxBC0 Series (Fixed), BAxxBC0W Series (Fixed) BA00BC0WCP-V5 (Variable) datasheet. URL: <https://www.farnell.com/datasheets/2296686.pdf> (дата обращения: 24.08.2022).

11. LTM4611 datasheet. URL: <https://www.farnell.com/datasheets/1717102.pdf> (дата обращения: 24.08.2022).

12. TPS75901 datasheet. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps759.pdf> (дата обращения: 24.08.2022).

13. LM117 datasheet. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm117.pdf> (дата обращения: 24.08.2022).

14. LMR14050 datasheet. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmr14050.pdf> (дата обращения: 24.08.2022).

УДК 621.3.019.3

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ ТРЕБОВАНИЯМ НАДЁЖНОСТИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

### ADDITIONAL ASPECTS OF ASSESSING COMPLIANCE WITH THE RELIABILITY REQUIREMENTS OF HIGH-VOLTAGE CABLE

**Журиков Р. Н.**, ФГБУ «46 ЦНИИ» МО РФ / ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», [romanzhu@mail.ru](mailto:romanzhu@mail.ru); **Душкин Ю. В.**, АО «СПО «Арктика» / ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», [dushkin@spoarktika.ru](mailto:dushkin@spoarktika.ru), **Невмывака А. Н.**, ; +7 (936) 222-67-04  
**Zhurikov R. N.**, FSBI "46 Central Research Institute" of the Ministry of Defense of the Russian Federation / Tomsk Polytechnic University, [romanzhu@mail.ru](mailto:romanzhu@mail.ru); **Dushkin Y. V.**, JSC "SPO "Arctica" / Tomsk Polytechnic University, [yuri.dushkin@mail.ru](mailto:yuri.dushkin@mail.ru), **Nevmyvaka A. N.**, ; +7 (936) 222-67-04

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы оценки надёжности и прогнозирования наработки высоковольтных монтажных кабелей. Приведены некоторые рекомендации и дополнительные аспекты оценки гамма-процентной наработки до отказа изделий, предназначенных для работы в режиме непрерывного или периодического воздействия импульсного или переменного напряжения, подтверждаемой прямым способом.

**Annotation.** The article consider of reliability assessment issues and the fast of forecasting of operating time of high-voltage installation cables. Some recommendations and additional aspects of evaluation of gamma-percentile operating time to failure of products intended for operation in the mode of continuous or periodic action of pulse or alternating voltage confirmed by direct method are given.

**Ключевые слова:** надёжность, минимальная наработка, электрический пробой, вероятность, эмпирический коэффициент корреляции, «правило трёх сигм».

**Keywords:** reliability, gamma-percentile operating time to failure, electrical breakdown, probability, empirical correlation coefficient, "the three sigma rule".



Журиков Р. Н.



Душкин Ю. В.



Невмывака А. Н.

### Введение

Современные требования к надёжности вооружения, военной техники и энергетических объектов требуют достижения соответствующего уровня надёжности кабельных изделий, как одной из составных частей, определяющих функционирование этих технических объектов. Высокие показатели надёжности определяют довольно высокие требования по вероятности безотказной работы и доверительной вероятности подтверждения показателей надёжности.

В связи с этим требуется применение метода статистического прогнозирования тренда технических параметров изделий прямым способом по результатам испытаний в форсированных режимах и условиях.

Работа в области надёжности для высоковольтных кабельных изделий регламентирована отраслевыми стандартами [4], в т. ч. определён способ подтверждения показателей надёжности изделий путём испытаний в условиях, имитирующих эксплуатационные условия (прямой способ подтверждения надёжности). Надёжность можно определить как свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции. Причём надёжность является комплексным свойством, включающим в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Одним из основных свойств надёжности для кабельных изделий является безотказность [2].

Гамма-процентная наработка до отказа изделий (далее – минимальная наработка), предназначенных для работы в режиме непрерывного или периодического воздействия импульсного или переменного напряжения, подтверждаемая прямым способом, определяется проведением испытаний на подтверждение способности изделия (высоковольтного кабеля) непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения (безотказность) [4].

Согласно требованиям нормативных документов, минимальная наработка высоковольтных кабельных изделий подтверждается при трёх значениях длительного прикладываемого испытательного

напряжения ( $U_{u_i}$ ), превышающего номинальное рабочее напряжение [3]:

$$U_{u_i} = K_i \cdot U_p, \quad (1)$$

где:

$U_p$  – рабочее напряжение частоты 50 Гц;

$K_i$  – повышающие коэффициенты  $K_1, K_2, K_3$ .

Для испытаний комплектуются три группы по десять образцов в каждой. Все образцы испытываются до пробоя. В пределах каждой группы образцы нумеруются в порядке возрастания времени воздействия напряжения до пробоя.

Полученные результаты откладываются на графике в системе координат: ось ординат –  $\ln(\ln(\frac{1}{1-p}))$ ; ось

абсцисс –  $\ln(t)$ . При этом значение вероятности пробоя ( $P$ ) от первого к десятому образцу устанавливается соответственно: 0,09, 0,18, 0,27, 0,36, 0,45, 0,54, 0,63, 0,72, 0,9 [3].

По полученным точкам проводится прямая (линейная интерполяция) до пересечения с горизонтальной прямой, соответствующей значению  $P = 0,01$ . Точка пересечения ( $t_{0,99}$ ) соответствует значению времени до пробоя с вероятностью 0,99.

Значения подтверждённой максимальной наработки устанавливаются посредством экстраполяции полученной «кривой жизни» в область рабочих напряжений.

Полученные три точки откладываются на графике в системе координат: ось ординат –  $\ln(U(u_i))$ ; ось абсцисс –  $\ln(t)$ . По трём точкам проводится прямая до точки пересечения с вертикальной прямой ( $\ln(U(t_n))$ ), соответствующей значению  $\ln(t_n)$ , где  $t_n$  – значение заданной минимальной наработки. Положительным является результат испытаний, если выполняется условие:

$$\ln(U_{t_n}) > \ln(U_p) \cdot \quad (2)$$

Таким образом, статистически адекватная графическая интерполяция полученных результатов будет определять требуемую достоверность и точность:

$$(\ln(\ln(\frac{1}{1-p}))) = F(\ln(t)) \cdot \quad (3)$$

Пример построения «кривой жизни» и определения минимальной наработки по результатам испытаний провода высоковольтного монтажного марки ПВМФ-2-0.35-2.0 представлен на рис. 1 и 2. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Согласно рис. 2 результаты испытаний являются положительными, выполняется условие:

$$\ln(U_{t_n}) > \ln(U_p) \rightarrow 1,07 > 0,69,$$

при этом значение прогнозированной наработки составляет 188000 ч.

Таблица 1

Результаты испытаний

Вероятность пробоя (P)	Время (t), ч			Примечание
	$U_{u1} = 6 \text{ кВ}$	$U_{u2} = 8 \text{ кВ}$	$U_{u3} = 9 \text{ кВ}$	
0,09	41	15	5	$U_p = 2 \text{ кВ}$ $K_1 = 3$ $K_2 = 4$ $K_3 = 4,5$
0,18	41	15	5	
0,27	48	30	7	
0,36	52	31	18	
0,45	52	33	20	
0,54	54	33	22	
0,63	56	35	25	
0,72	59	35	29	
0,81	74	36	29	
0,90	86	37	30	

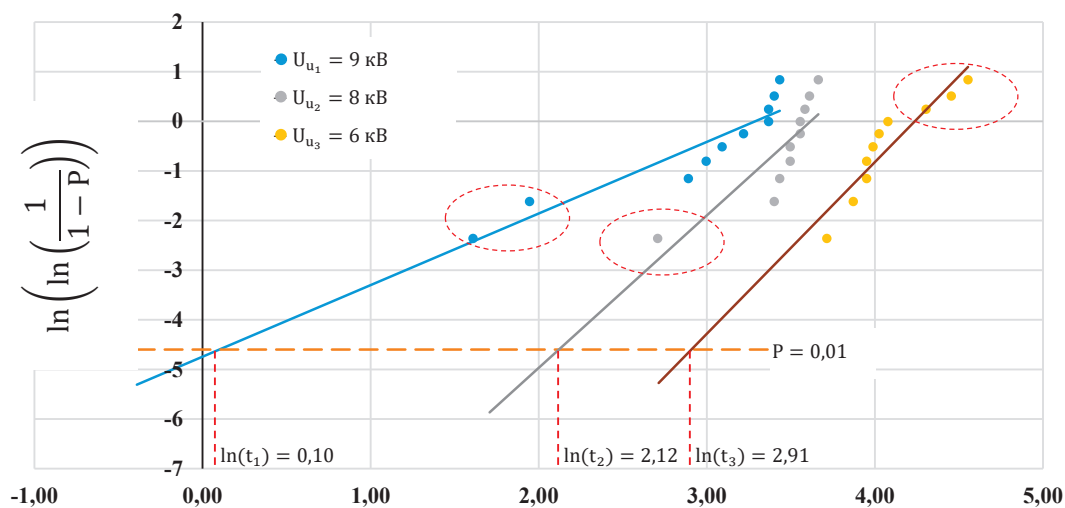


Рис. 1. «Кривая жизни»

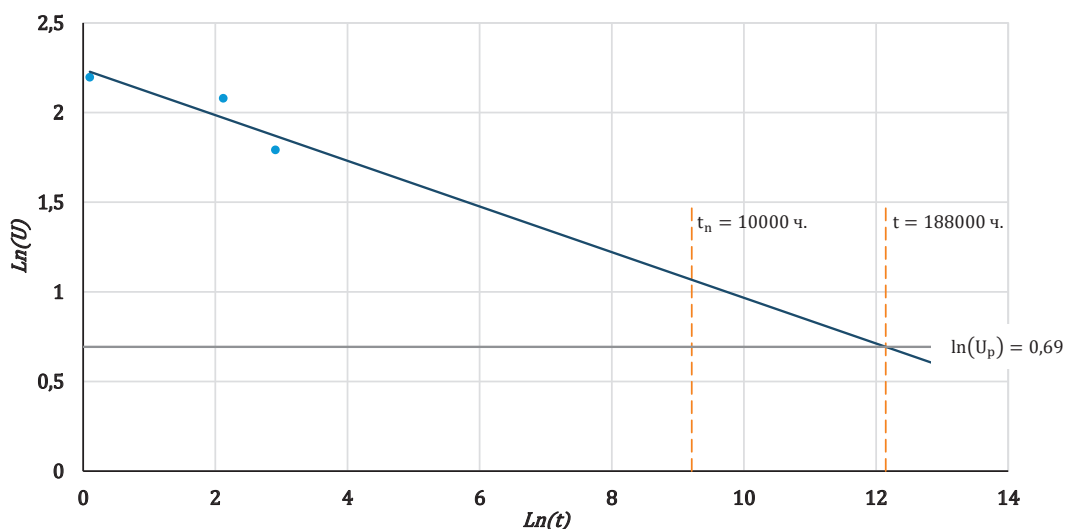


Рис. 2. Определение минимальной наработки



При анализе линейных зависимостей (рис. 1) необходимо отметить, что некоторые числовые значения (выделены пунктирной овальной линией) отличаются от основной совокупности.

При проведении ряда измерений (результатов испытаний) одной и той же величины всегда присутствует некоторый разброс значений. При этом могут встретиться измерения с большими случайными ошибками («грубые» ошибки), которые являются результатом естественного статистического отклонения [6]. Их «незаконное» включение в результаты измерений может сделать ложно-достоверным весь ряд измерений.

Один из способов исключения «грубых» ошибок основан на «правиле трёх сигм», которое определяет, что вероятность появления значения, отклоняющегося от среднего арифметического более чем на три значения эмпирического стандарта, равна 0,003 и поэтому результаты, вероятность получения которых меньше 0,003, можно считать «промахами» [1]. Таким образом, если результат из серии измерений удовлетворяет соотношению:

$$|x_i' - \bar{x}| > \frac{3 \cdot S}{\sqrt{n}},$$

где:

$x_i'$  – значение, отклоняющегося от среднего арифметического, проверяемое на принадлежность к «промаху»;

$\bar{x}$  – среднее арифметическое;

$S$  – эмпирический стандарт (дисперсия);

$n$  – количество измерений;

то  $x_i'$  является «промахом» и подлежит исключению из серии измерений.

На основе вышесказанного проведена оценка значений результатов испытаний провода высоковольтного монтажного марки ПВМФ-2-0.35-2.0 на исключение «грубых» ошибок (при расчётах принята замена:  $x = \ln(t)$ ,

$y = \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-P}\right)\right)$ ). Результаты представлены в табл. 2.

Исходя из представленных в табл. 2 данных, удовлетворяющие соотношению (критерию оценки «грубых» ошибок) значения, выделенные жирным шрифтом, являются «промахами» и подлежат исключению из серии измерений для получения достоверных результатов посредством экстраполяции «кривых жизни» в область рабочих напряжений.

Результаты построения «кривой жизни» и определения минимальной наработки с исключением «промахов» представлены на рис. 3 и 4.

Согласно рис. 4 результаты испытаний являются отрицательными, условие не выполняется:

$$\ln(U_{t_n}) > \ln(U_p) \rightarrow 0,68 < 0,69,$$

при этом значение прогнозированной наработки составляет 9400 ч.

Таким образом, построение «кривой жизни» для определения минимальной наработки по результатам испытаний провода без исключения «грубых» ошибок может приводить к нарушению достоверности подтверждения способности изделия выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях использования, технического обслуживания и ремонта до достижения предельного состояния в течение минимальной наработки, заданной в технических условиях на изделие.

С целью первичного определения необходимости оценки результатов испытаний на наличие значений с большими случайными ошибками может быть применён инструмент математической статистики – метод корреляционного анализа. Корреляционный анализ изучает поведение каждой из величин в зависимости от значений другой величины, а также меру зависимости между рассматриваемыми величинами. Сопоставляя каждому значению одной величины среднее из соответствующих значений другой величины, получают функцию эмпирической регрессии [5].

Корреляция между величинами называется линейной, если обе функции регрессии линейны. Угловые коэффициенты прямых выражаются через коэффициент корреляции ( $\rho$ ), который служит также мерой линейной зависимости между величинами.

Оценка «грубых» ошибок

Таблица 2

$U_{u_1} = 6 \text{ кВ}$		$U_{u_2} = 8 \text{ кВ}$		$U_{u_3} = 9 \text{ кВ}$		Примечание
$ x_i - \bar{x}_1 $	$\frac{3 \cdot S_1}{\sqrt{n}}$	$ x_i - \bar{x}_2 $	$\frac{3 \cdot S_2}{\sqrt{n}}$	$ x_i - \bar{x}_3 $	$\frac{3 \cdot S_3}{\sqrt{n}}$	
57,57	59,43	0,74	0,26	1,32	0,62	$S_1 = 0,640$ $S_2 = 0,273$ $S_3 = 0,266$ $\bar{x}_1 = 2,93$ $\bar{x}_2 = 3,45$ $\bar{x}_3 = 4,09$ $n = 10$
44,40		0,05		0,99		
48,85		0,02		0,04		
48,85		0,05		0,06		
50,79		0,05		0,16		
52,67		0,10		0,29		
55,42		0,10		0,44		
70,65		0,13		0,44		
82,17		0,16		0,47		
91,66		0,21		0,50		

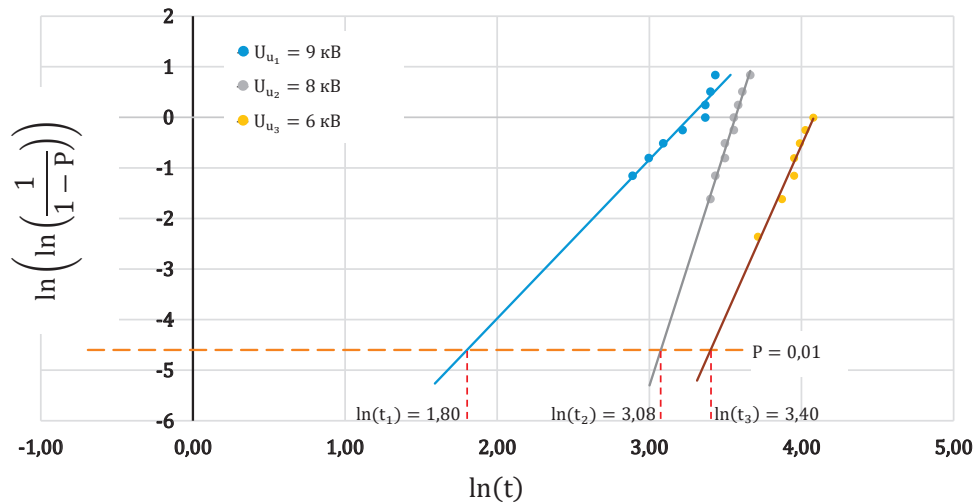


Рис. 3. «Кривая жизни 2»

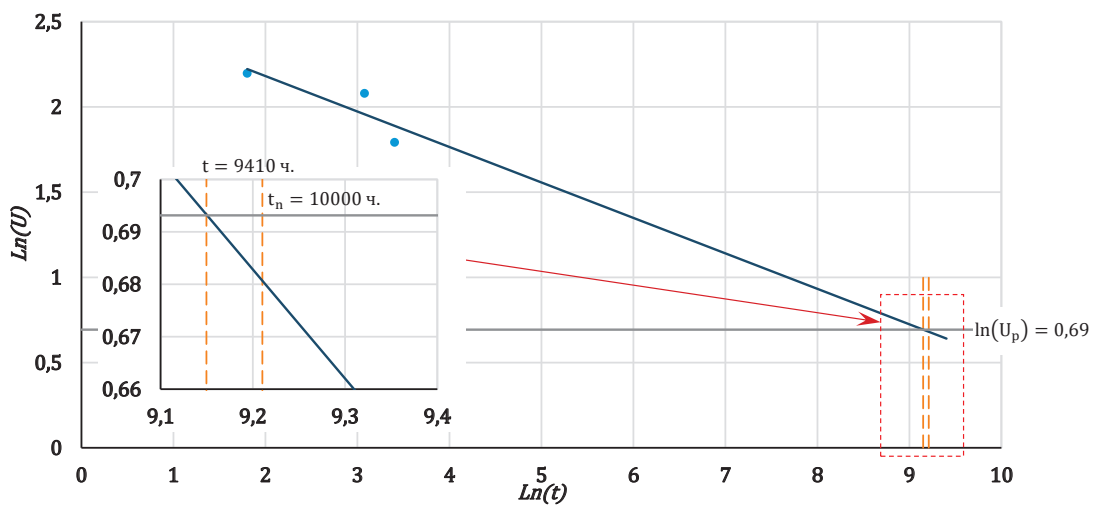


Рис. 4. Определение минимальной наработки, исключая «промахи»

Коэффициентом корреляции между случайными величинами  $x$  и  $y$  называется математическое ожидание произведения их нормированных отклонений:

$$\rho = M \left( \frac{x - a}{S_x} \cdot \frac{y - b}{S_y} \right)$$

где:

$a = M_x$  – центр распределения величины  $x$ ;

$b = M_y$  – центр распределения величины  $y$ ;

$S_x$  – эмпирический стандарт (дисперсия) величины  $x$ ;

$S_y$  – эмпирический стандарт (дисперсия) величины  $y$ .

Отсутствие линейной зависимости означает равенство коэффициента корреляции 0. Чем ближе  $|\rho|$  к 1, тем теснее линейная зависимость между величинами, т. е. тем меньше средняя квадратическая ошибка представления каждой из величин с помощью линейной функции другой величины. Иными словами, значение коэффициента корреляции может быть использовано в качестве инструмента (критерия) оценки линейной плотности построения зависимости между величинами.

Для экспериментальной оценки эмпирического коэффициента корреляции при построении линейной интерполяции данных используются [6]:

– средние арифметические значения  $\bar{x}$  и  $\bar{y}$ :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i;$$

– эмпирические дисперсии  $S_x$  и  $S_y$ :

$$S_x = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad S_y = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2.$$

В результате эмпирический коэффициент корреляции определяется выражением:

$$\rho = \frac{1}{S_x \cdot S_y} \cdot \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}).$$

Пример расчёта эмпирического коэффициента корреляции по результатам испытаний (табл. 1) провода высоковольтного монтажного марки ПВМФ-2-0.35-2.0 приведён в табл. 3.

Примечание:

1. При расчётах принята замена:

$$x = \ln(t), y = \ln \left( \ln \left( \frac{1}{1-P} \right) \right).$$

2. Расчётные значения эмпирического коэффициента корреляции после исключения «грубых» ошибок соответственно  $\rho_{6 \text{ кВ}} = 0,960$ ,  $\rho_{8 \text{ кВ}} = 0,979$ ,  $\rho_{9 \text{ кВ}} = 0,929$ .

Таким образом, исходя из полученных данных, достоверным является утверждение, что при первичном

Испытательное напряжение	$\bar{X}$	$\bar{y}$	$S_x$	$S_y$	$\rho$
$U_{u1} = 6$ кВ	4,089	-0,513	0,266	0,994	0,834
$U_{u2} = 8$ кВ	3,450	-0,513	0,273	0,994	0,759
$U_{u3} = 9$ кВ	2,932	-0,513	0,640	0,994	0,837

анализе результатов испытаний наличие значений с большими случайными ошибками подтверждается при расчётном значении эмпирического коэффициента корреляции  $|\rho| < 0,9$ . При этом построение «кривой жизни» для определения минимальной наработки должно выполняться при условии обязательного исключения «грубых» ошибок.

#### Заключение

1. Минимальная наработка (долговечность) высоковольтных кабельных изделий, подтверждаемая при трёх значениях длительного прилагаемого испытательного напряжения до пробоя, превышающего номинальное рабочее напряжение, с последующей экстраполяции полученной «кривой жизни» в область рабочих напряжений, с необходимой достоверностью и точностью определяется статистически адекватной графической интерполяцией полученных результатов испытаний.

2. Построение «кривой жизни» для определения минимальной наработки по результатам испытаний высоковольтных проводов без исключения «грубых» ошибок может приводить к нарушению достоверности подтверждения способности изделия выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях использования до достижения предельного состояния в течение наработки, заданной в технических условиях на изделие.

3. При первичном анализе результатов испытаний наличие значений с большими случайными ошибками подтверждается при величине эмпирического коэффициента корреляции менее 0,9. Построение «кривой жизни» в этом случае должно выполняться при условии обязательного исключения «грубых» ошибок.

#### Литература

1. Румшицкий Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. Справ. руков. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
2. ГОСТ Р 27.102–2021. Надёжность в технике надёжность объекта. Термины и определения.
3. ОСТ 16 0.800.305–84. Отраслевой стандарт. Кабели провода и шнуры. Общие технические требования по надёжности. Методы оценки соответствия требованиям надёжности.
4. ОСТ 16 0.800.438–84. Отраслевой стандарт. Провода высоковольтные монтажные. Общие технические условия.
5. Харьков О. А., Соловьёв А. Г. Статистические методы и математическое моделирование, учебное пособие, изд-во СГМУ, 2017. – 164 с.
6. Цыбрий И. К., Мороз К. А., Игнатенко В. И., Вяликов И. Л. Статистическая обработка результатов измерений, изд-во «Ростов-на-Дону», ДГТУ, 2021. – 129 с.

УДК 658.56

### ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ ГРАЖДАНСКОЙ ПРОДУКЦИИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

### FEATURES OF CONFORMITY ASSESSMENT OF CIVIL PRODUCTS IN MODERN CONDITIONS

**Булгаков О. Ю.**, к. воен. н., **Лепешкин А. В.**, **Осипова Е. М.**, ФГБУ «ВНИИР»; +7 (916) 948–27–46, bulgakov@vniir-m.ru  
**Bulgakov O. Yu.**, Ph. D. of military sciences, **Lepeshkin A. V.**, **Osipova E. M.**,  
FSBI "VNIIR"; +7 (916) 948–27–46, bulgakov@vniir-m.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается временный порядок, касающийся проведения оценки соответствия и обеспечения качества продукции, установленный в сфере технического регулирования в связи с введением в отношении Российской Федерации серьёзных экономических санкций.

**Annotation.** The article discusses the temporary procedure for conformity assessment and product quality assurance, which arose in the field of technical regulation in connection with the introduction of serious economic sanctions against the Russian Federation.

**Ключевые слова:** техническое регулирование, ЕАЭС, ТР, РФ, ЭКБ, РЭА, подтверждение соответствия, сертификация, декларирование, сертификат, декларация, лицензирование, электронная продукция.

**Keywords:** technical regulation, EAEU, TR, RF, ECB, REA, conformity assessment, certification, declaration, certificate, declaration, licensing, electronic products.





Булгаков О. Ю.



Лепешкин А. В.



Осипова Е. М.

### Введение

В сложившихся в последнее время реалиях обострённой мировой экономической и политической обстановки многократно возрастает проблема обеспечения государства и общества необходимым объёмом продукции, требуемого уровня безопасности и качества.

Введённые большим количеством стран в отношении Российской Федерации (далее – РФ) полномасштабные санкции оказали огромное влияние на экономику страны, поскольку под их действие попали сложившиеся за последние десятилетия бизнес-модели, связи, логистика и ассортимент выпускаемых в стране и ввозимых из-за рубежа товаров. Многие иностранные бренды попросту покинули российский рынок, весомая часть отечественного производства осталась без иностранных комплектующих, уже ввезённая и используемая продукция оказалась без необходимых запасных частей для требуемых сервисных работ и ремонта.

Целью данной статьи является попытка освещения сложившейся ситуации, принятых государством мер по обеспечению потребностей в электронной (радиоэлектронной) продукции и обсуждения возможных путей устранения, существующих на данный момент рисков.

### Основная часть

Возникшие проблемы с закупкой продукции и комплектующих иностранного производства поставили перед государством сложную задачу по организации эффективной системы обеспечения (насыщения) рынка требуемым количеством электронной (радиоэлектронной) продукции.

Для решения первостепенной проблемы насыщения рынка требуемым количеством продукции и недопущения создания её дефицита Правительством РФ было утверждено постановление от 12.03.2022 г. № 353 «Об особенностях разрешительной деятельности в Российской Федерации в 2022 году», в которое в течении года вносились оперативные изменения (в т. ч. в наименование) и на данный момент действует уже его 16 редакция «Об особенностях разрешительной деятельности в Российской Федерации в 2022 и 2023 годах» (с изменениями на 23.01.2023 г.) [1].

Приложением 18 данного постановления установлены упрощённые правила по оценке соответствия и вводу в обращение продукции, облегчающие её поступление на потребительский рынок.

В частности, при ввозе на территорию РФ продукции, подлежащей обязательной оценке соответствия установленным требованиям, допускается не представлять таможенным органам документы об оценке соответствия обязательным требованиям (сведения о таких документах) в отношении продукции являющейся:

- запасными частями (детали, узлы и (или) блоки готовой продукции, предназначенные для замены (ремонта) находящихся в эксплуатации), которые ввозятся для обслуживания и (или) ремонта ранее выпущенной в обращение на территории Российской Федерации готовой продукции;
- комплектующими, компонентами, сырьём и (или) материалами для производства (изготовления) продукции на территории РФ;
- единичными экземплярами исключительно для собственного использования декларантом.

Кроме того, при ввозе продукции, в отношении которой выданы (зарегистрированы) сертификаты соответствия или декларации о соответствии обязательным требованиям для серийно выпускаемой продукции, подтверждение декларантом права использования таких документов (сертификатов и деклараций) таможенным органам не требуется. Данный фактор являлся одним из важнейших при прохождении таможенного контроля ввозимой продукции, поскольку лишь заявитель, указанный в сертификате или декларации о соответствии, либо иная организация (индивидуальный предприниматель) с официального письменного разрешения заявителя могли использовать этот сертификат или декларацию в качестве документа, подтверждающего соответствие продукции всем распространяющимся на неё требованиям.

А в целях выпуска в обращение (в т. ч. ввоза) на территории РФ продукции, подлежащей оценке соответствия обязательным требованиям в форме сертификации или декларирования соответствия на основании доказательств, полученных с участием аккредитованной испытательной лаборатории (центра), с 21 марта 2022 г. до 1 сентября 2023 г. допускается проведение оценки соответствия указанным обязательным требованиям в форме декларирования

соответствия на основании собственных доказательств заявителя на конкретную партию или единичное изделие. В этом случае выпущенная в обращение продукция не маркируется единым знаком обращения продукции на рынке Евразийского экономического союза (далее – ЕАЭС).

Порядок обязательного подтверждения соответствия продукции требованиям технических регламентов ЕАЭС изложен в [2].

С одной стороны, принятые меры помогают обеспечить потребителя широким ассортиментом электронной (радиоэлектронной) продукции, а с другой стороны никто не может гарантировать потребителю качество продаваемой продукции.

Таким образом, упрощённый порядок оценки соответствия и ввода в обращение продукции приводит к выводу о возникновении противоречий (рис. 1). Потребитель получает большой ассортимент продукции, безопасность и качество которой не подтверждены должным образом (в соответствии с требованиями Технических регламентов ЕАЭС).

внешнеэкономической деятельности Евразийского экономического союза, в отношении которой не применяются положения пункта 6 приложения № 18 к постановлению Правительства Российской Федерации от 12 марта 2022 г. № 353 «Об особенностях разрешительной деятельности в Российской Федерации в 2022 и 2023 годах», и признании утратившим силу приказа Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 14 сентября 2022 г. № 3898» [3].

В этот перечень входит продукция, требующая обеспечения повышенной безопасности.

Однако, в перечне отсутствует не менее ответственная и требующая повышенного внимания к проверке её качества и безопасности электротехническая продукция, попадающая под действие ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования» [4] и ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств» [5]: электрические аппараты и приборы бытового назначения (в т. ч. световое оборудование); персональные электронные вычислительные машины (персональные компьютеры); низковольтное оборудование бытового

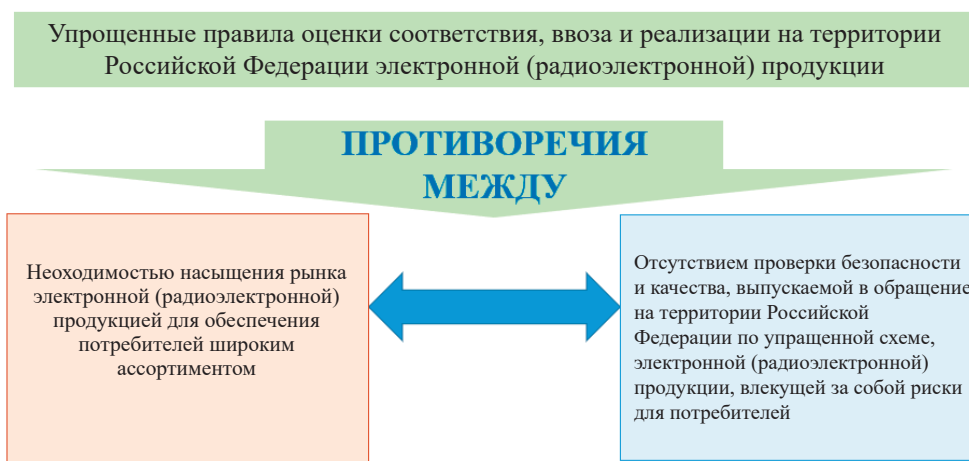


Рис. 1. Возникающие противоречия применения упрощённых правил

Что для потребителя важнее: большой ассортимент продукции, не прошедшей оценку соответствия, или небольшое количество, но подтверждённого уровня качества безопасной продукции?

Каждый может сделать свой вывод.

При этом общепринято считать, что всё зависит от степени потенциальной опасности, которую может оказать продукция. В соответствии с чем постановлением Правительства от 12.03.2022 г. № 353 установлено, что Министерством промышленности и торговли РФ утверждается перечень продукции с указанием кодов единой Товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности ЕАЭС, в отношении которой не применяются положения об упрощённом порядке ввоза и распространения.

Минпромторгом РФ было выпущено несколько редакций такого перечня и на данный момент действует перечень, утверждённый приказом от 02.11.2022 г. № 4616 «Об утверждении перечня продукции с указанием кодов единой Товарной номенклатуры

и офисного назначения, подключаемое к персональным электронным вычислительным машинам; инструмент электронагревательный; инструмент электрифицированный (машины ручные и переносные электрические); выключатели автоматические, устройства защитного отключения, плавкие предохранители, распределительные устройства, переключатели, контакторы, пускатели. Данная продукция применяется в быту обычными пользователями, не имеющими специальных знаний, однако, при этом содержит в себе существенные риски по электробезопасности и пожаробезопасности, требование к оценке которых установлены в технических регламентах, но которые не проверяются в настоящее время при упрощённой процедуре выпуска в обращение.

#### Заключение

Таким образом, действующий в настоящий момент порядок оценки соответствия и ввода в обращение, может обеспечить потребителей необходимым количеством продукции подтверждённого качества, за исключением электронной (радиоэлектронной) продукции, отсутствующей в перечне Минпромторга России [3]

Для решения возникшего противоречия, на наш взгляд, целесообразно внесение изменений в приказ Минпромторга России [3], в части обязательного включения в него продукции, подлежащей сертификации по ТР ТС 004/2011 [4] и ТР ТС 020/2011 [5], что позволит обеспечить потребителей широким ассортиментом безопасной продукции подтверждённого качества.

### Литература

1. Постановление Правительства РФ от 12.03.2022 г. № 353 «Об особенностях разрешительной деятельности в Российской Федерации в 2022 и 2023 годах».

2. Невмывака А. Н., Подъяпольский С. Б., Булгаков О. Ю., Лепешкин А. В., Осипова Е. М. «Об особенностях технического регулирования в области электронной продукции» // «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения», Мытищи, 2022 г. № 4(8). – с. 34–38.

3. Приказ Минпромторга России от 02.11.2022 г. № 4616 «Об утверждении перечня продукции с указанием кодов единой Товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности Евразийского экономического союза, в отношении которой не применяются положения пункта 6 приложения № 18 к постановлению Правительства Российской Федерации от 12 марта 2022 г. № 353 «Об особенностях разрешительной деятельности в Российской Федерации в 2022 и 2023 годах», и признании утратившим силу приказа Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 14 сентября 2022 г. № 3898».

4. ТР ТС 004/2011. О безопасности низковольтного оборудования.

5. ТР ТС 020/2011. Электромагнитная совместимость технических средств.

УДК 004.654

## ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАЧ СИНТЕЗА РЭА В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ОТРАСЛИ (часть 2)

### INFORMATION SUPPORT OF SYNTHESIS TASKS REA IN THE RADIOELECTRONIC INDUSTRY (part 2)

**Колядин А. И., Чупринов А. А.**, к. т. н.,

ФГБУ «ВНИИР», kolyadin@gmail.com, nevmvaka@vniir-m.ru, toliy1962@list.ru;

**Невмывака А.Н.**, +7 (936) 222 -67-04

**Kolyadin A. I., Chuprinov A. A.** Ph. D.,

FSBI "VNIIR", kolyadin@gmail.com, nevmvaka@vniir-m.ru, toliy1962@list.ru

**Nevmyvaka A. N.**, +7 (936) 222 -67-04

**Аннотация:** В статье рассмотрены вопросы, связанные с информационным обеспечением процессов разработки (проектирования) изделий радиоэлектронной аппаратуры (далее – РЭА), а именно:

- какие информационные ресурсы требуются для разработки РЭА;
- какие проблемы необходимо решить для создания ресурсов, предназначенных для информационного обеспечения задач, связанных с разработкой РЭА;
- каким образом выделить наиболее важную для решения конкретной задачи информацию.

**Annotation:** The article deals with issues related to the information support of the development (design) of electronic equipment (REA) products, namely:

- what information resources are required for the development of REA;
- what problems need to be solved in order to create resources intended for information support of tasks related to the development of REA;
- how to identify the most important information for solving a specific task.

**Ключевые слова:** проектирование, информационное обеспечение, радиоэлектронная аппаратура, радиоэлектронные и информационные технологии, электронная компонентная база.

**Keywords:** design, information support, electronic equipment, electronic and information technologies, electronic component base.

### Введение

В [1] рассмотрен обобщённый алгоритм разработки РЭА и обоснована необходимость наличия трёх баз данных (далее – БД) для разработки РЭА, а именно: БД РЭА, БД электронная компонентная база (далее – ЭКБ), БД радиоэлектронные и информационные технологии (далее – РЭИТ). Дана краткая характеристика имеющихся в настоящее время БД ЭКБ и связанных с ними проблем.

В данной статье продолжим обсуждение сложившейся на сегодня ситуации с информационным обеспечением процессов разработки РЭА.

### Основная часть

Рассмотрим последовательно основные проблемы, связанные в БД РЭА и РЭИТ.

#### 1) РЭА

Отраслевой БД РЭА, предназначенной для поиска и выбора аналогов и формирования новых видов образцов техники с использованием информации о РЭА в том виде, как это имеет место быть для ЭКБ, на основе которых можно было бы начинать проектирование новых изделий, нет. Без разбиения РЭА по признакам принадлежности и классификации БД





Колядин А. И.



Невмывака А. Н.



Чупринов А. А.

РЭА будет представлять «мусорную кучу» информации, единственным признаком поиска объекта в которой будет его «условное обозначение». Главной причиной этого является отсутствие специализированного по РЭА «естественного» отраслевого классификатора и формализованных спецификаций технических характеристик (далее – ТХ) для различных классов РЭА. Для РЭА (на сегодняшний день) используются следующие классификаторы:

- общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности (ОКПД 2, ОК 034–2014) [2];
- общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов (ОК 012–93) [3];
- единый кодификатор предметов снабжения для федеральных государственных нужд (ЕК 001–2020) [4].

Чаще всего используется ОКПД2, который в основном предназначен для решения задач классификации и кодирования продукции (услуг, работ) для целей государственного учёта и статистики. Ни один из перечисленных выше классификаторов не является специализированным по РЭА. Задача создания специализированного по РЭА «естественного» классификатора весьма актуальна, остановимся на ней подробнее.

«Естественность» классификации является важной характеристикой классификатора, т. к. это требование определяет как трудоёмкость его восприятия (понимания) [5, 6], так и удобство его использования, а искусственная классификация создаётся лишь в целях регистрации и удобного распознавания классифицируемых объектов. Создание «естественного» классификатора – это работа по распознаванию некоторой предметной области (далее – ПрО) как системы на установление отношений родства между сущностями ПрО, выявление их естественной упорядоченности и группировка в классификационные группы по степени родства. «Естественный» отраслевой классификатор РЭА должен быть интенциональным и раскрывать сущность классифицируемых объектов. В качестве примера в табл. 1 приведено определение класса ЭКБ через объём понятия (множество объектов, которые именуются данной языковой единицей) и содержание понятия [5].

## 2) РЭИТ

Отраслевой БД РЭИТ для поиска и выбора технологий, предназначенных для применения в РЭА, нет. Объект РЭИТ требует более детального рассмотрения, так как необходимо предварительно понять, что это за сущность – технология.

Определений термина «технология» достаточно много. Отталкиваясь от этих определений, нетрудно сделать вывод, что под технологией понимается некая

сущность, которая отвечает на вопрос – как надо действовать, чтобы добиться определённых целей, а определение класса (группы) технологий зависит от области, к которой относятся эти цели. К примеру, если цели в области производства, то технологии производственные, если цели в области обработки информации, то технологии информационные, если цели в области маркетинга, то технологии маркетинговые и т. д. Приведённые в различных источниках определения можно свести к двум основным трактовкам (пониманиям) термина:

- 1) как надо действовать (приёмы, методы, способы и пр.) для изготовления (производства) чего-либо [7];
- 2) как надо действовать (приёмы, методы, способы и пр.) в любой предметной области для достижения определённых целей [8].

Понимание термина «технология» в трактовке 2 является относительно новым, и в настоящее время общепринятым. Трактовка 1, в современном понимании, это производственная технология, которая является подмножеством всего множества технологий. В системах стандартов СССР: ЕСТД (Единая система технологической документации) и ЕСТПП (Единая система технологической подготовки производства) под технологией понимается технология в трактовке 1 (производственная технология), а в современных стандартах и нормативных документах [8] уже в трактовке 2.

Разработка естественного отраслевого классификатора РЭИТ велась в ФГБУ «ВНИИР» в инициативном порядке (версия классификатора представлена в [9]). Понятно, что классификатор РЭИТ по мере появления новых технологических направлений необходимо расширять и дополнять. Помимо классификатора необходимо разработать формализованные спецификации ТХ для различных классов РЭИТ.

## 3) Поиск и выбор

В настоящее время проблемы, связанные с поиском информации по ЭКБ, РЭА и РЭИТ, решаются с помощью специалистов (экспертов), обладающих большим объёмом знаний по ПрО, и (или) с использованием сети Интернет. Оба способа имеют общеизвестные и существенные недостатки. В первом случае – это зависимость от субъективного фактора, во втором – низкая достоверность полученной информации. Наличие специализированных баз данных полезно при разработке, но из имеющейся в БД информации надо ещё найти и выбрать то, что требуется для решения конкретной задачи. Детально алгоритмы поиска и выбора пертинентной решаемой задаче информации рассмотрены в [10], в данной статье опишем лишь общий подход.



Наименование класса ЭКБ	Экстенционал – объём понятия	Интенционал – содержание понятия
Модули СВЧ	Включает в себя следующие типы ЭКБ: – модули СВЧ генераторные; – модули СВЧ усилительные; – модули СВЧ преобразовательные; – модули СВЧ управляющие; – модули СВЧ многофункциональные; – модули СВЧ вентили; – модули СВЧ коаксиально-волноводные	Модуль СВЧ – изделие радиоэлектронной техники СВЧ диапазона, имеющее законченное конструктивное и схемное выполнение, состоящее из одного или нескольких функциональных узлов СВЧ, неремонтопригодное в условиях эксплуатации, взаимозаменяемое (по ГОСТ 23221-78, п. 1а)

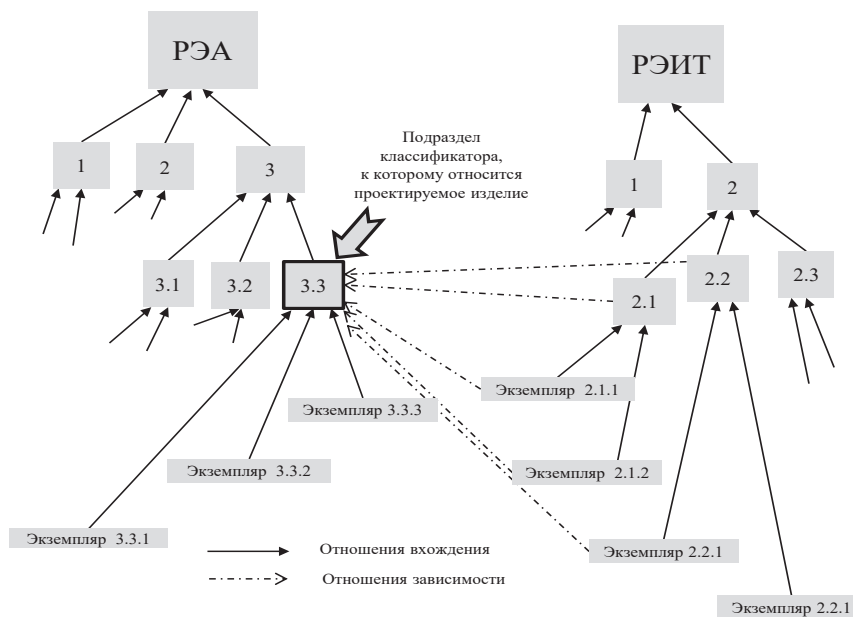


Рис. 1. Семантические связи класса проектируемого изделия с РЭИТ

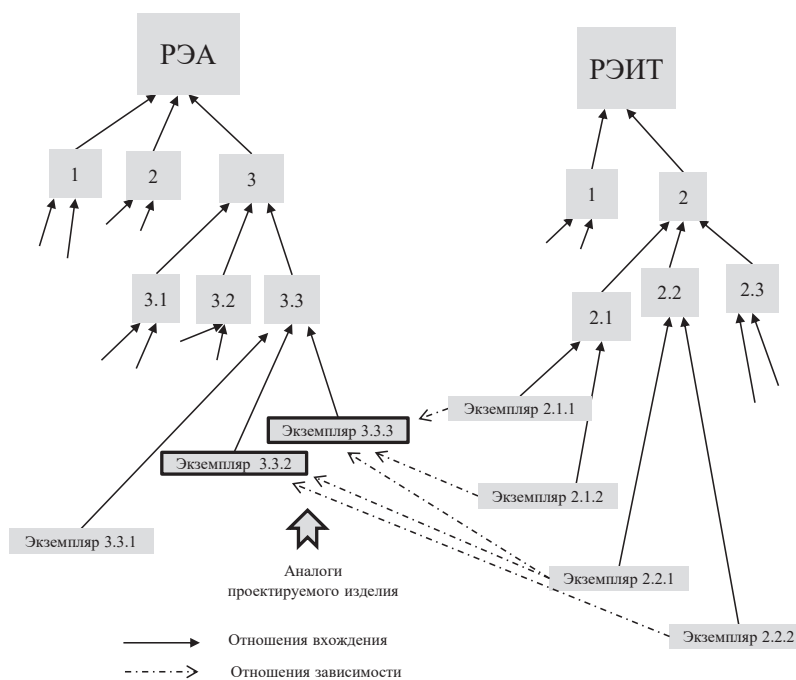


Рис. 2. Семантические связи аналогов проектируемого изделия с РЭИТ

Для работы алгоритмов поиска и выбора необходима информация по семантическим связям РЭА с РЭИТ и ЭКБ, т. е. знания по применению РЭИТ и ЭКБ в изделиях РЭА должны быть зафиксированы связями между объектами. Наличие таких связей фактически «превращает» совокупность трёх отдельных БД в базу знаний (далее – БЗ) или экспертную систему (далее – ЭС). Одно из определений знаний по [11]: «знания – это закономерности Про (принципы, связи, законы), полученные в результате практической деятельности и профессионального опыта, позволяющие специалистам ставить и решать задачи в этой области». При проектировании новых изделий необходимо учитывать и применять накопленный ранее опыт по разработке РЭА, что существенно легче осуществлять, если он зафиксирован в БЗ в виде семантических связей. В качестве примера на рис. 1 проиллюстрированы связи раздела классификатора, к которому относится проектируемое изделие, а на рис. 2 – связи экземпляров аналогов проектируемого изделия с классами и конкретными экземплярами РЭИТ. Связанные такими отношениями объекты: РЭА, ЭКБ и РЭИТ представляют некое множество ситуаций, встречавшихся в прошлом по применению РЭИТ и ЭКБ в изделиях РЭА. С помощью алгоритмов логического вывода, использующих семантические связи (рис. 1 и 2), можно эффективно решать задачи поиска и выбора [10], т. к. даже на первый взгляд ясно, что рационально найти аналогичный случай, принёсший успех в прошлом, и поступить так же. Несколько упрощая можно считать, что такая ЭС – это библиотека решений с развитой системой поиска и подсказок о том, какие именно РЭИТ могут быть применены в каждом конкретном случае, и фактически играющая роль консультанта по РЭИТ и ЭКБ для проектировщика.

### Заключение

Опираясь на приведённые выше материалы, можно сделать следующие выводы:

1. Процесс формирования перспективных образцов РЭА основывается на использовании имеющихся знаний в области разработки и опыта применения как ЭКБ, так и РЭА, и РЭИТ. При этом три этих сущности образуют при своём слиянии (объединении) новую сущность – базу знаний, являющуюся основой создания различных вариантов реализации систем искусственного интеллекта. Любой информационный ресурс, используемый для проектирования и разработки новых образцов, должен быть структурирован, классифицирован и каталогизирован. Это позволит повысить эффективность поиска информации в информационном пространстве радиоэлектронной отрасли и даст возможность осуществлять его в соответствии с потребностями разработчиков, использующих для этого ТХ и каталоги продукции.

2. Для комфортной работы проектировщиков и разработчиков, как показывает опыт в этой области знаний, необходима автоматизированная система, выполняющая роль ЭС. Это позволит

не только произвести выбор информации о характеристиках проектируемой системы и перечня элементов, которые рекомендовано использовать для разработки РЭА, но и предоставит информацию о технологиях создания РЭА и имеющемся ранее опыте создания подобных образцов РЭА.

### Литература

1. Колядин А. И., Невмывака А. Н., Чупринов А. А. Информационное обеспечение задач синтеза РЭА в радиоэлектронной отрасли // Мытищи, ФГБУ «ВНИИР», Научно-технический журнал «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения», 2022, – № 4(8). – с. 38–40.

2. ОК 034–2014 (КПЕС 2008) Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности.

3. ОК 012–93 Классификатор ЕСКД.

4. ЕК 001–2020 Единый кодификатор предметов снабжения для федеральных государственных нужд.

5. Витяев Е. Е., Морозова Н. С., Сутягин А. С., Лапардин К. А. / Естественная классификация и систематика как законы природы // Анализ структурных закономерностей (Вычислительные системы вып. 174), Новосибирск, 2005. – 80 с.

6. Витяев Е. Е. Извлечение знаний из данных. Компьютерное познание. Модели когнитивных процессов: Монография. / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2006. – 293 с.

7. Ожегов С. И., Шведова Н. Ю. Толковый словарь русского языка: 80 000 слов и фразеологических выражений / Российская академия наук. Институт русского языка им. В. В. Виноградова. – 4-е изд., дополненное. – М.: ООО «А ТЕМП», 2006. – 944 с.

8. ГОСТ Р 53114–2008 Защита информации. Обеспечение информационной безопасности в организации. Основные термины и определения.

9. Отчёт о научно-исследовательской работе «Комплексные исследования по созданию объединённого информационного пространства и защищённых центров обработки данных в области разработки, производства и применения электронной компонентной базы, технологий создания радиоэлектронной аппаратуры в интересах вооружения, военной и специальной техники» / В. В. Алексеев, В. М. Исаев, А. И. Колядин, А. А. Чупринов и др. // ФГУП «МНИИРИП», 2016. – 467 с.

10. 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.

11. Системный анализ и принятие решений: учеб. пособие «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» / Секлетова Н. Н., Тучкова А. С. – Самара, 2017. – 85 с.

**ПЕРЕЧЕНЬ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ  
«РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ТРАСЛЬ: ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ» В 2022 ГОДУ**

Ф. И. О., название статьи	номер	страница
<b>КАЧЕСТВО И НАДЁЖНОСТЬ</b>		
Яненко А. В. Риски применения схемотехнических мер парирования одиночных тиристорных эффектов в космической аппаратуре	1(5)	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	1(5)	22
Степанов А. В., Степанов В. А. ГОСТ РВ 0015–002–2020: Требования к ресурсам для мониторинга и измерения. Проблемы разработки	1(5)	27
Фатюшкин С. А. Проблемы измерения электрических параметров керамических конденсаторов большой ёмкости	2(6)	25
Фенюк Ю. М., Чужова А. С. Основные направления оценки применимости электронной компонентной базы в радиоэлектронной аппаратуре	3(7)	30
Булгаков В. О. О методических подходах к выбору комплектующих изделий, модулей, электронной компонентной базы и материалов на этапе разработки радиоэлектронной аппаратуры	3(7)	33
Храменков В. Н., Щеглов В. А. Нормативно-правовое регулирование процедуры задания метрологических требований к техническим объектам	3(7)	37
Зелякова Т. И., Лучкина М. Е., Овчинникова С. А., Рубан С. О. Стойкость некоторых полимерных материалов к воздействию специальных факторов	4(8)	18
Синельников Ю. Г., Рыбаков А. К. О возможном сокращении объёма испытаний при подтверждении требований к сохраняемости	4(8)	22
Быканов В. В., Есакова М. М., Тупицина А. В., Кремнева А. В., Душкин Ю. В., Журиков Р. Н. Проблемы определения показателей точности измерений при разработке ЭКБ и пути их решения	4(8)	28
<b>ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b>		
Булгаков В. О. Безопасности корпоративных Wi-Fi сетей и перспектива их развития	1(5)	31
Колядин А. И. Вопросы представления информации по электронным компонентам в радиоэлектронной отрасли	2(6)	35
Колядин А. И., Невмывака А. Н., Чупринов А. А. Информационное обеспечение задач синтеза РЭА в радиоэлектронной отрасли	4(8)	38
<b>РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ</b>		
Донсков Р. Е., Тимофеев И. Г., Пустовойт М. В., Мардаровский А. Ф. Применение кабельной продукции нового поколения для ВМФ РФ	1(5)	2
Буртовой А. Ю. Исследование и результат сбора, анализа и обобщения информации о выводах изделий электронной техники, применяемых при построении условных графических обозначений	1(5)	6
Булгаков О. Ю., Подъяпольский С. Б. Методический подход к обоснованию создания интегрированного центра организации и проведения испытаний ЭКБ и РЭА	1(5)	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	1(5)	14
Дормидошина Д. А. Порядок разработки моделей инновационной электронной компонентной базы, их актуализация и поддержка в течение стадий жизненного цикла	2(6)	4
Калашников О. А., Ахметов А. О., Телец В. А., Никифоров А. Ю., Боруздина А. Б., Яненко А. В. Типовые подходы к контролю и оценке радиационной стойкости электронной компонентной базы в процессе комплектования радиоэлектронной аппаратуры	2(6)	9
Булгаков О. Ю., Подъяпольский С. Б., Подъяпольский Б. С., Погосов Г. С. Методический подход к организации функционирования интегрированного центра организации и проведения испытаний ЭКБ и РЭА	2(6)	13
Душкин Ю. В., Мардаровский А. Ф., Прищепин Г. С. Многофункциональная испытательная станция в АО «Северное производственное объединение «Арктика»	2(6)	16
Быканов В. В., Есакова М. М., Тупицина А. В. Метрологический надзор при проведении внутреннего аудита, как инструмент совершенствования деятельности испытательной лаборатории (центра)	2(6)	22
Дормидошина Д. А., Рубцов Ю. В. Применение материалов на стадиях изготовления QFN-корпусов для изделий микроэлектроники	3(7)	8
Антонюк А. В., Мосин А. В. Особенности измерения вносимых потерь в оптическом волокне	3(7)	13
Горелов А. А., Макаров О. В., Посысаева Т. Т. Оценка стойкости волноводов антенно-фидерных устройств к действию ионизирующих излучений гамма-диапазона	3(7)	16
Герасимов В. Ф., Болдырев М. А., Морозов Н. В. Стойкость литиевых и литий-ионных химических источников тока к воздействию специальных факторов	3(7)	18
Быканов В. В., Есакова М. М., Тупицина А. В., Булгаков О. Ю. О некоторых проблемах обеспечения единства измерений анализаторов влажности	3(7)	25
Петровичев А. А. Об одном из методов подтверждения требований к воздействию электромагнитных полей высокой интенсивности	3(7)	27
Потапкин В. Н., Купцова И. А. Концепция развития сложно-функциональных блоков	4(8)	2
Бондаренко А. С., Аскерко А. Н., Ковтун А. Ю. Применение режима собирания заряда в сканирующей электронной микроскопии полупроводниковых приборов	4(8)	5
Редька А. В., Ионов В. Е., Аболдуев И. М., Иванов К. А., Василевский А. А., Давлятшина А. А. Алгоритм расчёта перпендикулярного коаксиально волноводного перехода КВП в программе ANSYS HFSS	4(8)	9
Погосов Г. С. Трансформация подхода к организации процесса испытаний электронной компонентной базы и радиоэлектронной аппаратуры	4(8)	14
<b>СЕРТИФИКАЦИЯ, АТТЕСТАЦИЯ, КВАЛИФИКАЦИЯ</b>		
Ожегин Ю. А., Фарафонов О. А. Практические подходы к внедрению ГОСТ ISO/IEC 17025 2019 и ЭС РД 005–2020 в деятельности испытательных центров (лабораторий) при испытаниях ЭКБ на специальную стойкость	2(6)	29
Фенюк Ю. М., Чужова А. С. Совершенствование процедуры лицензирования предприятий радиоэлектронной промышленности при выполнении ими заданий государственного оборонного заказа	2(6)	32
Подъяпольский С. Б., Булгаков О. Ю., Осипова Е. М. О некоторых аспектах распространения электронной продукции в радиоэлектронной отрасли	3(7)	4
Невмывака А. Н., Подъяпольский С. Б., Булгаков О. Ю., Лепешкин А. В., Осипова Е. М. Об особенностях технического регулирования в области электронной продукции	4(8)	34
<b>КОМПЕТЕНТНЫЕ МНЕНИЯ И АНАЛИТИКА</b>		
Колядин А. И. Вопросы выбора модели представления знаний в радиоэлектронной отрасли	1(5)	36
<b>ИНФОРМАЦИЯ</b>		
АО «НИИ «ПОЛЮС» им. М. Ф. Стальмаха – 60 лет	2(6)	2
ЗАО «Супертехприбор» – 30 лет	3(7)	2
Перечень научных статей, опубликованных в 2021 году	1(5)	40



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

## ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР



### Воздействие Плесневых грибов

Испытания на стойкость к воздействию плесневых грибов позволяют установить правильность выбора материалов, влияние на грибостойкость внешних загрязнений, оценить влияние развития плесневых грибов на работоспособность изделий

### Камера Thermotron SLE-60

Значительный объём камеры позволяет проводить испытания на воздействие солнечного излучения как изделий малых размеров, так и крупногабаритных образцов

### Рентгеновский томограф Phoenixlx-ray v/tome/x m 300

Различимость деталей 1 мкм  
Автоматический анализ дефектов

- микроэлектроника;
- материаловедение;
- металлообработка;
- геология;
- биология и др.



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

+7 (495) 586-17-21

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