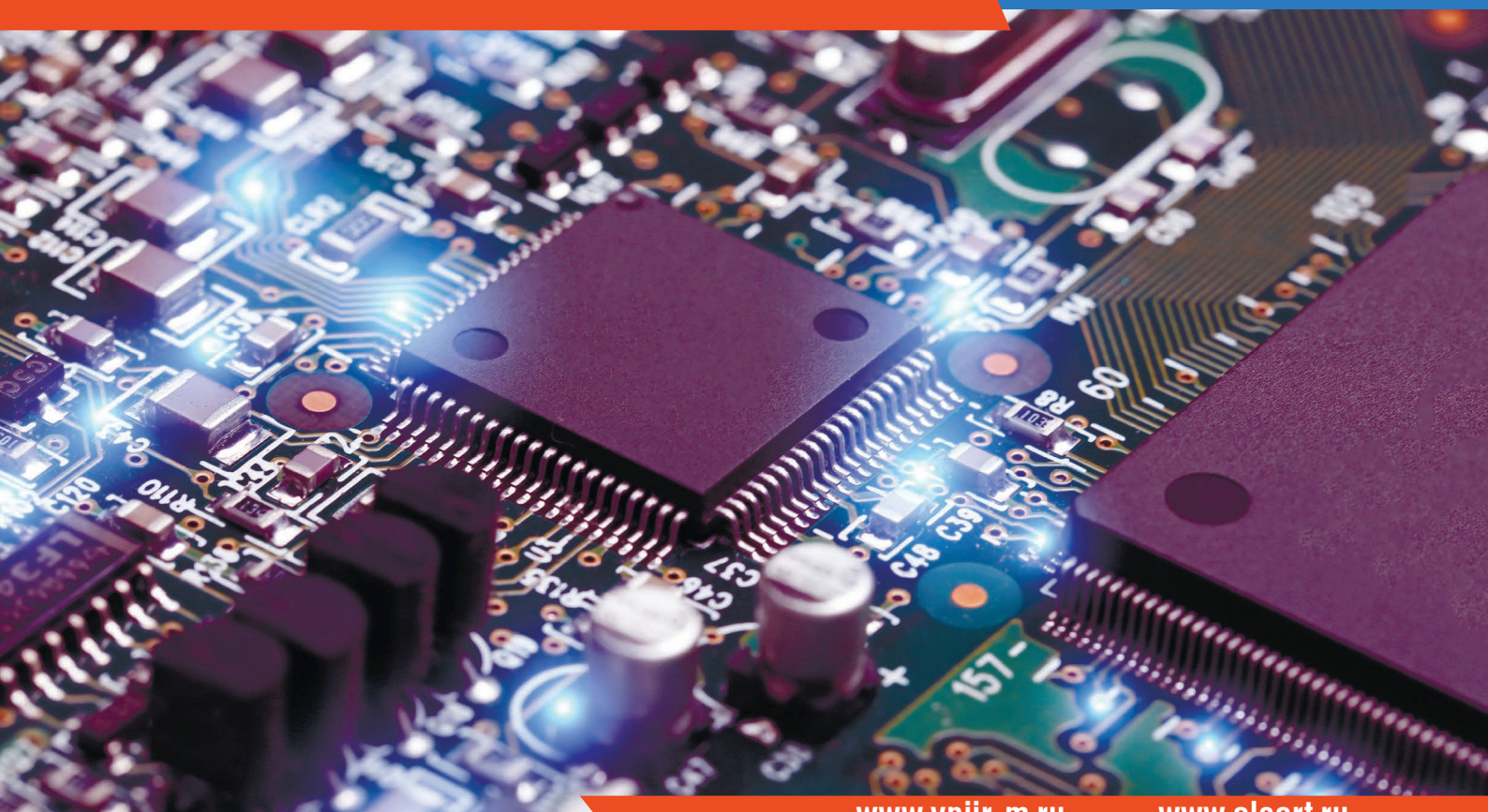


4⁽⁸⁾ | РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: 2022 | ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ



www.vniir-m.ru

www.elsert.ru

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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



Испытательная лаборатория



Испытательная лаборатория АО «Радиант-ЭК» аккредитована в установленном порядке и специализируется на сертификационных и дополнительных испытаниях

электронной компонентной базы иностранного и отечественного производства, а также на проведении испытаний готовых изделий.

Направления деятельности ИЛ:

- Проведение сертификационных и дополнительных испытаний электронной компонентной базы иностранного и отечественного производства (ЭКБ ИП и ЭКБ ОП).
- Функциональный и параметрический контроль, в том числе аналоговых и цифровых ИМС.
- Полный комплекс проверки СВЧ устройств, включая бескорпусные ИС.
- Разработка и изготовление измерительных оснасток и контактирующих устройств для проверки электрических характеристик и функционального контроля микросхем, в том числе бескорпусных СВЧ микросхем и кристаллов.
- Широкий спектр механических и климатических испытаний.
- Разработка и согласование программ и методик испытаний.
- Проведение испытаний под контролем ВП МО РФ.

Возможности ИЛ

Лаборатория укомплектована новейшим оборудованием, обеспечивающим широкий спектр испытаний в соответствии с требованиями КГВС «Климат» и «Мороз», испытания проводят высококвалифицированные инженеры.



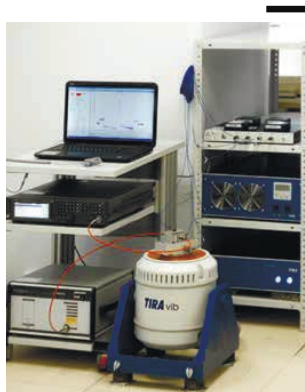
- Методологическое обеспечение: разработка и согласование программ и методик испытаний, анализ и оптимизация номенклатуры электронных компонентов, оформление заключений;
- Разработка КД и ПО, изготовление измерительной оснастки для проведения испытаний БИС,

СБИС (включая корпуса BGA шагом 1,27 мм/1 мм/ 0,8 мм/ 0,5 мм с количеством выводов до 1936), а также полупроводниковых кристаллов в том числе СВЧ;

- Высоковольтные испытания пассивных и полупроводниковых компонентов до 10кВ.

Сертификационные испытания

Проведение механических и климатических испытаний:



- синусоидальная вибрация;
- широкополосная случайная вибрация (ШСВ);
- механический удар (многократного и одиночного действия);
- пониженное и повышенное давление;
- соляной (морской) туман;
- статическая и динамическая пыль (песок);
- пониженная и повышенная влажность;
- пониженная и повышенная температура.



Функциональный и параметрический контроль БИС и СБИС (ПЛИС, сигнальных процессоров, микроконтроллеров, ОЗУ, ПЗУ), СВЧ компонентов до 43,5 ГГц.



Испытание бескорпусных компонентов. Проведение технологических операций по разварке кристаллов микросхем.

Приглашаем к сотрудничеству



ГК «РАДИАНТ»
tel: (495) 725-04-04
fax: (495) 921-35-85
e-mail: radiant@ranet.ru

Сертификаты соответствия



Аттестат аккредитации испытательной лаборатории в системе «ЭЛЕКТРОНСЕРТ» № ЭС 01.061.0121-2021 от 22.01.2021г.

Сертификат соответствия ГОСТ ISO 9001:2015, ГОСТ РВ 0015-002-2012 в системе «ВОЕННЫЙ РЕГИСТР» № ВР 14.1.14761-2020 от 27.08.2020 г.

www.radiant.su

РО Пир 4 (8)/2022 (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
М. Л. Савин, и. о. генерального директора 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. Стешенко, кандидат технических наук
А. А. Рахманов, доктор технических наук
В. А. Телец, доктор технических наук

Главный редактор:

О. Ю. Булгаков, заслуженный работник связи РФ,
кандидат военных наук
Заместитель главного редактора:
С. Б. Подъяпольский, кандидат технических наук

Редакционная коллегия:

А. С. Афанасьев, кандидат технических наук
В. В. Быканов, кандидат технических наук
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, директор АО «ЦКБ «Дейтон»
Л. А. Фёдорова, академик Академии проблем качества
В. Н. Храменков, доктор технических наук
С. В. Щербаков, кандидат 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 20.10.2022 г.
Подписано к печати 15.11.2022 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 и Российского технологического университета – МИРЭА.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ

Потапкин В. Н., Купцова И. А. Вопросы применения сложно-функциональных блоков2
Бондаренко А. С., Аскерко А. Н., Ковтун А. Ю. Применение режима собирания заряда в сканирующей электронной микроскопии полупроводниковых приборов.....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.....9
Погосов Г. С. Трансформация подхода к организации процесса испытаний электронной компонентной базы и радиоэлектронной аппаратуры.....14

КАЧЕСТВО И НАДЁЖНОСТЬ

Зелякова Т. И., Лучкина М. Е., Овчинникова С. А., Рубан С. О. Стойкость некоторых полимерных материалов к воздействию специальных факторов.....18
Синельников Ю. Г., Рыбаков А. К. О возможном сокращении объёма испытаний при подтверждении требований к сохраняемости.....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 электронной компонентной базы и пути их решения.....28

СЕРТИФИКАЦИЯ, АТТЕСТАЦИЯ, КВАЛИФИКАЦИЯ

Невмывака А. Н., Подъяпольский С. Б., Булгаков О. Ю., Лепешкина А. В., Осипова Е. М. Об особенностях технического регулирования в области электронной продукции.....34

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Колядин А. И., Невмывака А. Н., Чупринов А. А. Информационное обеспечение задач синтеза РЭА в радиоэлектронной отрасли38

ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ СЛОЖНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БЛОКОВ THE CONCEPT OF THE DEVELOPMENT OF INTELLECTUAL PROPERTY CORES

Потапкин В. Н., Купцова И. А. ФГБУ «ВНИИР»; +7 (495) 586–17–21; potapkin@vniir-m.ru, uraz@vniir-m.ru
Potapkin V. N., Kuptsova I. A. FBSE «VNIIR»; +7 (495) 586–17–21; potapkin@vniir-m.ru, uraz@vniir-m.ru

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос о необходимости создания единой базы сложно-функциональных блоков (далее – ЕБСФБ) в России. ЕБСФБ позволит получать полную и достоверную информацию о сложно-функциональных блоках (далее – СФ-блоки), приобретать в режиме онлайн напрямую от производителя лицензионные сложно-функциональные блоки, обеспечить возможность использования базы зарубежными потребителями. Проводится анализ причин отсутствия ЕБСФБ в России и на глобальном рынке.

Annotation. The article discusses the need to create a unified database of intellectual property core (hereinafter referred to as the UDIPC) in Russia. The UDIPC should allow to receive reliable information about intellectual property core to purchase licensed intellectual property core online directly from the manufacturer to ensure that the database can be used by foreign consumers. The analysis of the reasons for the absence of UDIPC in Russia and on the global market is carried out.

Ключевые слова: сложно-функциональные блоки, база сложно-функциональных блоков, ЕБСФБ.

Keywords: intellectual property core, database intellectual property core, UDIPC.

Введение

Одно из направлений развития – микроэлектроника, связано с развитием проектирования схмотехнических блоков изделий микроэлектроники, где СФ-блоки могут быть использованы (встроены) как составная (готовая) схмотехническая часть отдельных изделий.

Задачи микроминиатюризации аппаратуры с обеспечением пониженного энергопотребления и высоких показателей надёжности, решаются созданием функционально законченного устройства на кристалле (система на кристалле).

Анализ показывает, что большая часть сложно-функциональных блоков разрабатывается в США. Российские производители, такие как: АО «НИИМЭ», АО НТЦ «Модуль», ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, разрабатывают СФ-блоки, но обеспечение внешним интерфейсом для использования при изготовлении на сторонних технологических линиях недостаточно проработано. При необходимости и возможности использования в схмотехнической конструкции (структуре) современных ИМС законченных СФ-блоков предпочтение отдаётся СФ-блокам иностранного производства.

В связи с чем требуется акцентировать внимание на отечественных производителях. Это позволяет сделать вывод о необходимости объединения сложно-функциональных блоков в общую единую базу, которая будет позволять осуществлять быстрый поиск аналогов для замены иностранных СФ-блоков.

Основная часть

В настоящее время для быстрой перспективной разработки радиоэлектронной аппаратуры (далее – РЭА) необходимо внедрение и развитие сложно-функциональных блоков (иностранный эквивалент IP-core) для двойного и военного назначения.

Проведённый анализ зарубежной научной базы показывает, что СФ-блоков интересны не только инженерным, но ещё экономическим и юридическим специальностям.



Потапкин В. Н.



Купцова И. А.

Согласно Всемирной статистике торговли полупроводниками компания WSTS в мае 2022 г. опубликовала свой новый прогноз развития полупроводниковой промышленности. По нему ожидается, что в 2022 г. полупроводниковая промышленность в Азии и Тихоокеанском районе вырастет на 13,9 %, на Американском континенте – на 22,6 %, в Европе – на 20,8 %, в Японии – на 12,6 %, а в 2023 г. – на 5,6 % [1]. Наиболее остро стоит вопрос разработки технологических и конструктивных решений при разработке и внедрении. Ведущими производителями при внедрении сложно-функциональных блоков являются: Mentor Graphics (США/Германия), PDF Solutions (США), Huada Empryean (Китай) и др. Программное обеспечение позволяет конвертировать сложно-функциональные блоки по технологии ведущих производителей TSMC (Тайвань), XFAV (Германия) и др.

США занимает лидирующее место в области программного обеспечения и разработки СФ-блоков. На рис. 1 представлен обобщенный анализ областей применения и получаемой экономической эффективности от применения СФ-блоков, таких как проектирование, разработка и внедрение передового производства микросхем (рис. 1) [2].



Рис. 1. Гистограмма лидерства сложно-функциональных блоков

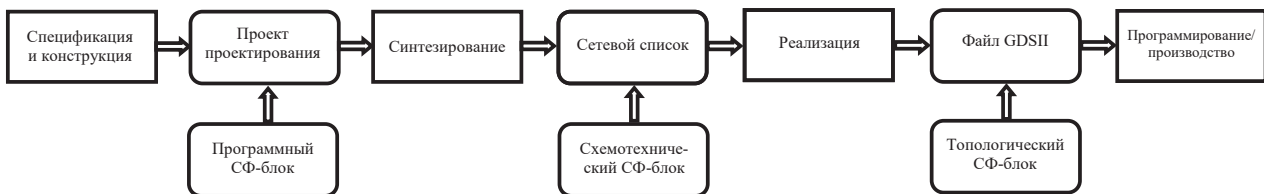


Рис. 2. Стадия проектирования по IEEE 1735

С 2009 г. Китай стал выходить на международный рынок СФ-блоков. Китайское программное обеспечение позволяет производить, конвертировать сложно-функциональные блоки для их использования при создании ИМС на собственных производственных мощностях. Компания Xreedic (Китай) проработала изготовление пассивных сложно-функциональных блоков на основе ультраконденсаторов по передаче данных на скоростях 5G с использованием собственных производственных фабрик. В настоящее время решается вопрос разработки сложно-функциональных блоков, которые можно конвертировать под технологии изготовителей в интегральном исполнении по стандарту IEEE 1735 (рис. 2).

В настоящее время сложно-функциональные блоки делятся на три вида:

- программные: блоки поставляются в виде RTL, VHDL и др., разрабатываются стандарты языка SystemRDL [3]. Обеспечивают максимальную гибкость и возможность переконфигурации под технологии, но должны быть синтезированы и интегрированы пользователем в будущие проекты после проведения тестирования;
- схематехнические: представляют собой промежуток между программными (представляют собой базис элементов библиотеки) и топологическими сложно-функциональными блоками, связанными между собой.

Они более оптимизированы и ориентированы на конкретную архитектуру;

- топологические: состоят из жёстких макетов физического дизайна и поставляются в виде GDSII, OASIS, CIF и др. Имеют минимальную гибкость и обеспечивают интеграцию в систему на кристалле с наименьшими усилиями.

На этапах проектирования и внедрения в систему на кристалле разрабатывается стандарт тестирования, проводится разработка новых языков для программных и схематехнических СФ-блоков, оптимизация технологических решений применительно к топологическим СФ-блокам.

Проводятся мероприятия по расширению базиса элементов, формированию шаблона топологических размещений блоков для возможности оптимизации процесса внедрения для конкретных групп изделий микроэлектроники. В последнее время развитие в данной области привело к увеличению интеграции и внедрению передовых методов проектирования с использованием СФ-блоков. В результате на одном кристалле стало возможно реализовать несколько СФ-блоков и появление следующих задач:

- разработка новых технологических и конструктивных решений;
- аналитика перспективных требований для будущих изделий;

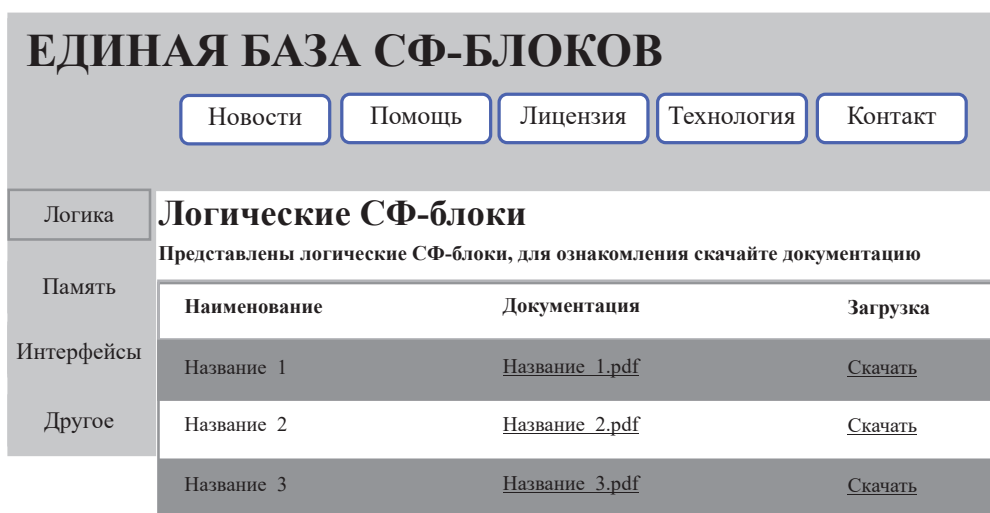


Рис. 3. Пример ЕБСФБ

– интеллектуальная собственность сложно-функциональных блоков на международном рынке.

Одна из важных задач при создании СФ-блоков – это определение потребностей в области функционального назначения и основных технических характеристиках электронных устройств, которые будут востребованы для создания современных электромобилей, устройств робототехники, комплексных систем «умный дом» (город, улица), искусственный интеллект и т. д.

Кроме очевидных плюсов существуют и трудности в направлении развития СФ-блоков, к которым можно отнести:

- сложность защиты лицензии;
- отсутствие анализа требуемых технологий в связи с отсутствием спроса на разработку новых технологий;
- зависимость от глобальных коммерческих связей (как результат – риски нарушения сроков или полного отсутствия поставок).

В настоящее время идёт проработка вариантов взаимодействия разработчиков СФ-блоков с целью изготовления на кремниевых фабриках. Появляются разработки стандартов обмена между производителями.

Существенная работа осуществляется по разработке стандарта в части упаковки, интеграции и повторного использования IP-ХАСТ.

Компании Arteris, Inc. (США), Arm Inc. (Великобритания), Texas Instruments (США) и др. специализируются на разработке, передаче сложно-функциональных блоков по лицензии.

В рамках соблюдения интеллектуальных прав на разработку и правомерности использования её третьими лицами правообладателем осуществляется выдача лицензий. Лицензия – это правовой инструмент, определяющий использование и распространение разработки, защищённой авторским правом.

Основные виды лицензий:

- платная лицензия: лицензия на сложно-функциональные блоки, работоспособность которых гарантирована производителем, но несёт за собой высокие затраты по обеспечению технической поддержки;
- лицензия с открытым кодом: лицензия на сложно-функциональные блоки с открытым доступом для

просмотра, изучения и изменения, что позволяет убедиться в отсутствии уязвимостей и неприемлемых для пользователя функций, но является незащищённой от недоработок.

В настоящее время решается много задач по созданию рынка с открытым исходным кодом и наработками предприятий-изготовителей с интеллектуальной собственностью в отсутствие международных коммерческих связей (политические отношения, пандемия COVID-19, санкции) [4–6].

Для более продуктивного и масштабного, за счёт обеспечения физического обмена между потребителями и производителями, использования в России СФ-блоков необходимо собрать имеющуюся информацию в ЕБСФБ, которая содержит описание программного обеспечения и библиотек элементов. В связи с чем необходимо разработать и внедрить механизм сертификации СФ-блоков и лицензирования. Вариант записи данных по СФ-блокам представлен на рис. 3.

Основной задачей ЕБСФБ будет являться максимальная защита и проверка на наличие лицензии при передаче на предприятие изготовителя, возможность помощи выбора технологии под нужные параметры с гибкой настройкой под основные запросы, что позволяет уйти от использования иностранной продукции и реализовать свои СФ-блоки.

ЕБСФБ при развитии должна соответствовать характеристикам и требованиям:

- а) обеспечения комплексного развития технологий и технологических направлений;
- б) реализации защиты лицензированных сложно-функциональных блоков;
- в) обладать независимостью от зарубежных сложно-функциональных блоков;
- г) содержать:
 - мероприятия для развития программного обеспечения и библиотек изделий;
 - мероприятия уровней развития на стадии: сложно-функциональный блок-система на кристалле-модуле;
 - д) иметь возможность:
 - получения информации о характеристиках сложно-функциональных блоков;

- сокращения времени получения готового изделия;
- выхода на международный рынок и способность обеспечения использования базы зарубежными потребителями;
- приобретения сложно-функциональных блоков в режиме онлайн;
- оплаты и получения в режиме онлайн.

Заключение

Таким образом, рассмотрена концепция создания ЕБСФБ, которая позволит получать: достоверную информацию о сложно-функциональных блоках, приобретать в режиме онлайн напрямую от производителя лицензионные сложно-функциональные блоки, обеспечит возможность использования базы зарубежными потребителями, что значительно повысит эффективность и позволит предприятиям сократить сроки разработки изделий и выхода его на рынок.

В следующих статьях будет представлена концепция программного обеспечения обработки трёх видов сложно-функциональных блоков с возможностью последующей интеграции под технологии предприятия-изготовителя.

Литература

1. <https://www.wsts.org/76/Recent-News-Release>.
2. Journal Boston Consulting Group-semiconductor industry association-strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era-april 2021, 4, p. 5.
3. Standards Accellera Systems Initiative Standards SystemRDL 2.0/D9 Register Description Language 2017.
4. Prof. Dr. Michael Kurschilgen, Prof. Dr. Joachim Henkel, Prof. Dr. Hannah Hottenrott Markets for Technology in the Semiconductor Industry – The Role of Ability-Related Trust in the Market for IP Cores Die Dissertation wurde am 27.2.2017 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Wirtschaftswissenschaften am 15.3.2017 angenommen. s. 1–196.
5. James T. Pennington, Semiconductor Industry Merger and Acquisition Activity from a Technology Maturity and Intellectual Property Perspective Massachusetts Institute of Technology September 2020, p. 1–98.
6. Simone Ferriani – University of Bologna & Cass B. School, Elizabeth Garnsey – University of Cambridge, Gianni Lorenzoni – University of Bologna, Lorenzo Massa – WU & EPFL THE INTELLECTUAL PROPERTY BUSINESS MODEL LESSONS FROM ARM Plc. 2015, s. 1–39, № 3. – p. 21.

УДК 53.086

ПРИМЕНЕНИЕ РЕЖИМА СОБИРАНИЯ ЗАРЯДА В СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

APPLICATIONS OF CHARGE COLLECTION SCANNING ELECTRON MICROSCOPY OF SEMICONDUCTOR DEVICES

Бондаренко А. С., к. ф.-м. н., **Аскерко А. Н.**, **Ковтун А. Ю.** АО «КБ «Ракета»; +7 (812) 409–90–40;
Bondarenko A. S., Ph.D., **Askerko A. N.**, **Kovtun A. Yu.** JSC «DB «Rocket»; +7 (812) 409–90–40;
bond.anton@gmail.com; aan@kbrocket.ru

Аннотация. Целью данной работы является демонстрация возможности применения сканирующей электронной микроскопии в задачах анализа отказов в полупроводниковых приборах. Режим сбора заряда позволяет визуализировать скрытые слои металлизации, локализовать дефектные элементы интегральных схем, исследовать электрическую активность дефектов кристаллической структуры в полупроводниках.

Annotation. This work aims to demonstrate applications of scanning electron microscopy for the failure analysis of semiconductor devices. The charge collection scanning electron microscopy allows one to visualize internal metallization layers, localize defect elements of integral circuits, and investigate electrical activity of structural defects of crystalline semiconductor.

Ключевые слова: сканирующая электронная микроскопия, полупроводниковые приборы, анализ отказов, разрушающий физический анализ, потенциальный контраст.

Keywords: scanning electron microscopy, semiconductor devices, failure analysis, destructive physical analysis, voltaic contrast.

Введение

В сканирующей электронной микроскопии полупроводников и полупроводниковых приборов широко применяются методики, связанные с накоплением и сбором электрического заряда, позволяющие анализировать не только морфологию поверхности образца с пространственным разрешением, достаточным для визуализации микроскопических элементов интегральных схем,

но и проводить анализ электрических свойств полупроводниковых структур, локализовать обрывы и замыкания и другие дефекты в микросхемах. Эти методики основаны на физических процессах, происходящих в твёрдых телах при возбуждении электронным пучком, в первую очередь, с генерацией и выходом вторичных электронов, а для полупроводников – также с генерацией электронно-дырочных пар.



Бондаренко А. С.



Аскерко А. Н.



Ковтун А. Ю.

Основная часть

В зависимости от электропроводности, наличия встроенных электрических полей, например, р-п переходов, возбуждение образца электронным пучком может приводить к локальному изменению электрического потенциала поверхности. Поскольку энергия вторичных электронов не превышает 50 эВ, а положение максимума распределения вторичных электронов по энергии для большинства материалов не превышает 10 эВ, то даже небольшие изменения потенциала в несколько вольт способны модулировать выход вторичных электронов и менять контраст на снимках, получаемых с помощью детектора вторичных электронов [1].

Такой тип контраста, связанный с локальным накоплением электрического заряда, называют потенциалным. В зависимости от подключения электродов исследуемого полупроводникового прибора к внешней электрической цепи и подачи напряжения смещения разделяют также пассивный и активный потенциалный контраст. Применение активного потенциалного контраста позволяет фиксировать электрический потенциал металлических электродов полупроводникового устройства для усиления или ослабления их контраста при детектировании вторичных электронов. При пассивном режиме аккумуляции электрических зарядов и локальный потенциал поверхности определяются током пучка, ёмкостью электродов, локальной проводимостью и временем экспозиции (скоростью развёртки). Для большинства задач анализа отказов в полупроводниковых приборах, а также визуализации активных областей полупроводниковых приборов применяется именно режим пассивного потенциалного контраста из-за простоты проведения эксперимента.

Причиной изменения потенциала поверхности, потенциалного барьера, преодолеваемого вторичными электронами, покидающими образец, помимо накопления заряда в случае полупроводника также может являться изменение уровня легирования, определяющее положение уровня Ферми в запрещённой зоне полупроводника. Теоретическая оценка потенциалного контраста может быть выполнена с помощью простой формулы [2]:

$$\delta^* = \delta \cdot \exp\left(-\frac{q\Delta V_B}{E_\sigma}\right),$$

где: δ – коэффициент выхода вторичных электронов, т. е. количество вторичных электронов, приходящихся на один электрон первичного пучка;

ΔV_B – изменение потенциала поверхности;
 q – заряд электрона;
 E_σ – средняя энергия регистрируемых вторичных электронов.

Для возможности накопления заряда в металлическом проводнике в полупроводниковом приборе металл должен быть изолирован от заземлённого столика микроскопа. Этого добиваются либо изолируя соответствующие выводы исследуемой микросхемы, либо физически отсекая исследуемый элемент от остальной интегральной схемы, например, при помощи сфокусированного ионного пучка. За счёт эмиссии вторичных электронов изолированный металлический проводник приобретает положительный заряд, что приводит к уменьшению величины δ и, соответственно, к уменьшению контраста [3]. Диэлектрики, наоборот, при облучении электронным пучком аккумулируют отрицательный заряд на поверхности, что приводит к усилению сигнала вторичных электронов. Потенциальный контраст помогает визуализировать проводники, соединённые друг с другом, для установления электрической схемы устройства (рис. 1), обнаружения обрывов цепи или для обнаружения коротко замкнутых элементов в дефектных интегральных схемах (рис. 2).

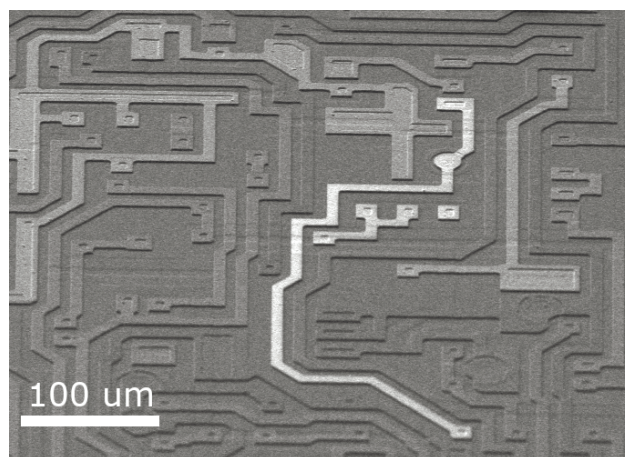


Рис. 1. Изображение верхнего слоя металлизации микросхемы RH1573. Детектор вторичных электронов

В случае с полупроводниковым материалом, как было сказано выше, изменение потенциала и появление потенциалного контраста может быть вызвано различным положением уровня Ферми в запрещённой зоне полупроводника из-за различного уровня легирования. Так положение уровня Ферми для полупроводника n- и р-типа можно рассчитать по формулам:

$$E_C - E_F = kT \ln \frac{N_C}{N_d},$$

$$E_F - E_V = kT \ln \frac{N_V}{N_a},$$

где: E_F – уровень Ферми;
 E_C – дно зоны проводимости;
 E_V – потолок валентной зоны;
 $N_{(C,V)}$ – плотность состояний в зоне проводимости (C) и в валентной зоне (V) соответственно;
 $N_{(d,a)}$ – уровень легирования донорами или акцепторами;
 k – постоянная Больцмана;
 T – температура полупроводника.

Очевидно, что изменение потенциала у полупроводника с разным уровнем легирования не может превышать ширину запрещенной зоны, например, для кремния порядка 1,1 В. Это означает, что потенциальный контраст в данном случае будет в несколько раз слабее, чем при накоплении заряда изолированным проводником или диэлектриком. Тем не менее работа с гистограммой цифрового изображения позволяет вытягивать слабые контрасты и проводить визуализацию активных областей полупроводникового прибора.

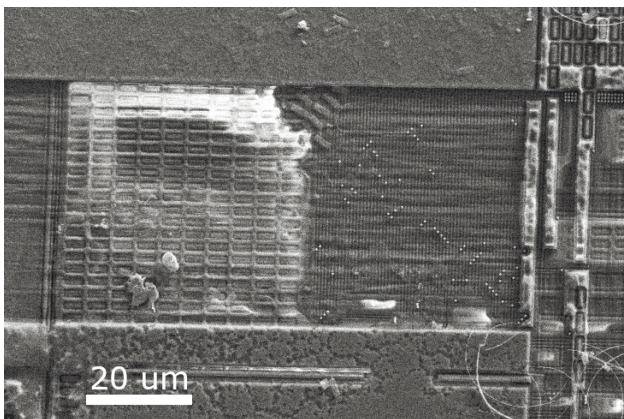


Рис. 2. Изображение участка, частично разрушенного в результате химического травления конденсатора микросхемы VCSO RK205, вторичные электроны, потенциальный контраст. Короткозамкнутые ячейки демонстрируют темный контраст

На рис. 3 приведено изображение во вторичных электронах поперечного сечения мощного полевого транзистора, выполненное при помощи фокусированного ионного пучка. В верхней части изображение приведено с полной гистограммой: наблюдается яркий контраст от слоя алюминия (исток), темный контраст от затвора из поликристаллического кремния p-типа, окруженного изолятором SiO₂, также демонстрирующим светлый контраст из-за аккумуляции заряда. В кремниевой подложке виден слабый, более светлый, контраст от областей p-типа. Если растянуть гистограмму, оставив только уровни, соответствующие сигналу от кремния, то контраст p- и n-областей можно усилить (нижняя врезка на рис. 3).

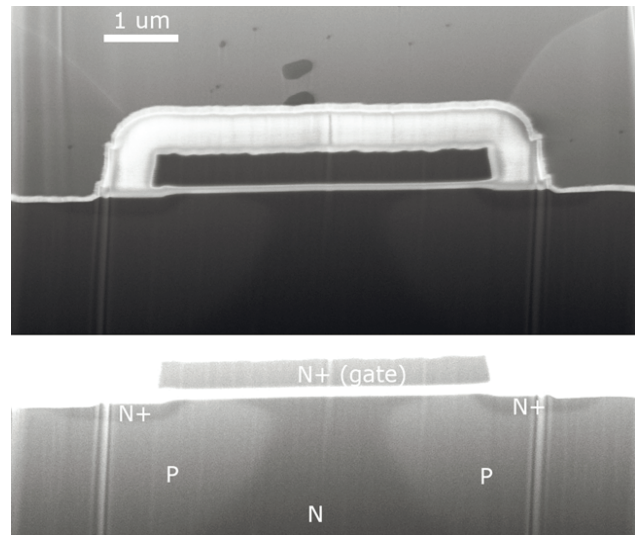


Рис. 3. Поперечный срез полевого транзистора IRHMB6S7260, выполненный при помощи фокусированного ионного пучка поперёк затвора из поликристаллического кремния. Слабый полевой контраст областей кремния, вызванный различным легированием полупроводника (верхнее изображение) усилен на нижнем изображении

Важным критерием для возможности работы с полевым контрастом является минимизация морфологического контраста в сигнале вторичных электронов. При исследовании микросхем, изготовленных по планарной технологии, это не требует дополнительных усилий, но при работе с поперечными сечениями качество полировки должно быть очень высоким, особенно при необходимости работы со слабыми контрастами, как на рис. 3.

Ток, наведённый электронным пучком

Помимо получения контрастов, связанных с накоплением заряда в проводниках, диэлектриках и локальным изменением потенциала в образце, в полупроводниковых приборах при наличии встроенных электрических полей (потенциальные барьеры, p-n переходы, диоды Шоттки) в сканирующей электронной микроскопии можно заниматься сбором разделённых электрическим полем зарядов, сгенерированных в полупроводнике под воздействием электронного пучка. Такой метод исследования полупроводниковых приборов называется регистрацией тока, наведённого электронным лучом (в англоязычной литературе EBIC – electron beam induced current) [4]. Для реализации этого метода к полупроводниковому прибору подводятся контакты и подключается электрометр, измеряющий ток синхронно с развёрткой электронного пучка, интенсивность пикселя на получаемых изображениях пропорциональна величине измеренного тока.

В сканирующем электронном микроскопе энергия электронов пучка обычно находится в диапазоне 1–30 кэВ и не приводит к структурным повреждениям полупроводника, что делает возбуждение образца электронами подобных энергий удобным инструментом для исследования электронных процессов в полупроводниках и находит множество аналогий с хорошо изученным возбуждением светом. Главным различием между оптическим и электронным возбуждением является геометрия области возбуждения. Скорость генерации электронно-дырочных пар в полупроводнике описывается уравнением:

$$g(r, z) = \langle g \rangle \frac{E_b I_b (1 - \eta)}{E_{eh} q},$$

где: $g(r, z)$ – нормированное квазистационарное распределение электронов пучка в объёме взаимодействия;
 E_b – энергия электронов пучка;
 I_b – ток пучка;
 η – коэффициент отражения (обычно менее $< 1\%$);
 $E_{eh} \sim 3E_{gap}$ – энергия на образование одной электронно-дырочной пары (E_{gap} – ширина запрещённой зоны);
 q – заряд электрона.

Размер области взаимодействия R_e определяется плотностью материала и энергией электронов первичного пучка и может быть оценён по эмпирической формуле:

$$R_e = \left(\frac{4,28 \cdot 10^{-6}}{\rho} \right) E_b^{1,75},$$

где: ρ – плотность полупроводника в г/см³;
 E_b – энергия пучка в кэВ.

Так при энергии электронов пучка 30 кэВ в кремнии размер области взаимодействия составит около 7 мкм. Однако определяющей пространственное разрешение в методе EBIC величиной является не область взаимодействия, а длина диффузии L в материале (в кремнии порядка 100 мкм) и скорость рекомбинации носителей на ловушках и на поверхности полупроводника S . Модифицированная с учётом диффузии и рекомбинации скорость генерации неосновных носителей в полупроводнике p -типа может быть оценена по формуле [5]:

$$\Delta p = \frac{E_b I_b (1 - \eta) L_n}{2 E_{eh} q (\pi d^2) D_n} \int_0^{R_e} \left(\exp \left[-\frac{z - z'}{L} \right] + \frac{1 - \delta}{1 + \delta} \exp \left[-\frac{z + z'}{L} \right] \right) \langle g(z') \rangle dz',$$

где: D_n – коэффициент диффузии дырок;
 d – диаметр пучка;
 $\delta = \frac{S\tau}{L}$, где τ – время жизни неосновных носителей.

Из последнего уравнения видно, что с помощью измерения EBIC для разных значений энергии электронов первичного пучка, можно установить длину диффузии и скорость рекомбинации дефектов в полупроводнике, а проводя измерение при разной температуре, можно оценить и энергетическое положение уровня ловушек заряда в запрещённой зоне.

Количественные методы EBIC тем не менее чаще применяются при исследованиях фундаментальных свойств полупроводников и дефектов кристаллической структуры. Для задач анализа отказов полупроводниковых приборов EBIC используется больше, как средство визуализации и локализации активных областей и дефектов. Наиболее широкое применение метод EBIC получил в исследовании оптоэлектронных элементов, фотоэлектрических преобразователей и светоизлучающих структур. На рис. 4 приведено EBIC-изображение фотодиода, утонённого с обратной стороны механической шлифовкой с последующей полировкой. Наблюдаются области повышенной рекомбинации (тёмный контраст) вблизи оставшихся после механической полировки царапин. Обнаружить и локализовать дефект в данной структуре можно только при помощи измерения EBIC. EBIC также активно применяется для оценки рекомбинационной активности границ зёрен в солнечных батареях из поликристаллического кремния, однако

в случае столь крупных образцов как солнечная батарея, EBIC используется в основном в исследовательских лабораториях, на массовом производстве применяют более простой и быстрый метод регистрации фотолюминесценции, хотя и проигрывающий EBIC по пространственному разрешению [6].

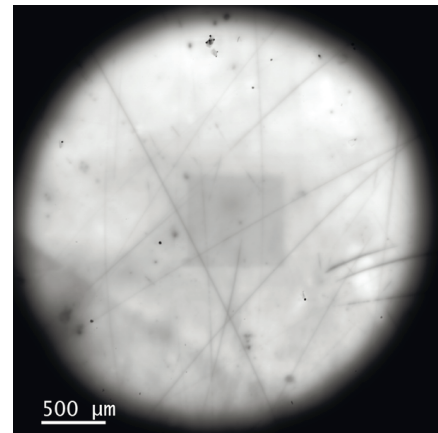


Рис. 4. EBIC – изображение утонённого с обратной стороны кремниевое фотозлемента. Тёмный контраст на светлом поле активной области прибора соответствует электрически активным дефектам структуры, образовавшимся вдоль царапин, возникших в процессе механической полировки

Заключение

Накопление и сбор носителей заряда, генерирующихся в твёрдом теле под воздействием электронного пучка, позволяет значительно расширить количество информации об образце, получаемой с помощью сканирующего электронного микроскопа при анализе полупроводниковых структур и приборов. В работе были показаны примеры визуализации электрических цепей и локализации дефектов в них в интегральных микросхемах, получения изображения областей локального изменения легирования в кремниевом полевом транзисторе, визуализации электрически активных дислокаций в оптоэлектронных структурах.

Литература

1. J. Goldstein, D. E. Newbury, D. C. Joy, C. E. Lyman, P. Echlin, E. Lifshin, L. Sawyer, and J. R. Michael, Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis, 3rd ed. (Springer, 2003).
2. L. Grella, G. Lorusso, P. Lee, F. Frank, and D. L. Adler, Three-Dimensional Simulation of Top down Scanning Electron Microscopy Images, J. Vac. Sci. Technol. B Microelectron. Nanometer Struct. 22, 3399 (2004).
3. R. Rosenkranz, Failure Localization with Active and Passive Voltage Contrast in FIB and SEM, J. Mater. Sci. Mater. Electron. 22, 1523 (2011).
4. H. J. Leamy, Charge Collection Scanning Electron Microscopy, J. Appl. Phys. 53, R51 (1982).
5. W. Van Roosbroeck, Injected Current Carrier Transport in a Semi-Infinite Semiconductor and the Determination of Lifetimes and Surface Recombination Velocities, J. Appl. Phys. 26, 380 (1955).
6. M. D. Abbott, J. E. Cotter, F. W. Chen, T. Trupke, R. A. Bardos, and K. C. Fisher, Application of Photoluminescence Characterization to the Development and Manufacturing of High-Efficiency Silicon Solar Cells, J. Appl. Phys. 100, 114514 (2006).

**АЛГОРИТМ РАСЧЁТА ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОГО КООКСИАЛЬНО-ВОЛНОВОДНОГО ПЕРЕХОДА КВП
В ПРОГРАММЕ ANSYS HFSS****ALGORITHM FOR CALCULATING THE PERPENDICULAR COAXIAL WAVEGUIDE TRANSITION KVP
IN THE ANSYS HFSS PROGRAM**

Редька А. В., Ионов В. Е., Аболдуев И. М., Иванов К. А., Василевский А. А. АО «НПП «Пульсар»; +7 (929) 553–51–53; redka_av@pulsarnpp.ru; **Давлятшина А. А.**, к. ф.-м. н.
Radish A. V., Ionov V. E., Abolduev I. M., Ivanov K. A., Vasilevsky A. A.
JSC «NPP Pulsar»; +7 (929) 553–51–53; redka_av@pulsarnpp.ru; **Davlyatshina A. A.**, Ph.D.

Аннотация. Статья посвящена расчёту герметичного перпендикулярного коаксиально-волноводного перехода КВП в программе ANSYS HFSS [2, 3]. Задача расчёта перпендикулярного КВП разбивается на пять условно независимых подзадач меньшего размера, в каждой из которых требуется подобрать с помощью программы ANSYS HFSS одну – две переменные. В результате изложенного в статье подхода рассчитан перпендикулярный КВП, имеющий $S_{11} < -20$ dB в заданной полосе частот 9.4 ГГц – 10.9 ГГц.

Annotation. The article is devoted to the calculation of a sealed perpendicular coaxial waveguide transition of the KVP in the ANSYS HFSS program [2, 3]. The problem of calculating the perpendicular KVP is divided into five conditionally independent subtasks of smaller size in each of which it is required to select one or two variables using the ANSYS HFSS program. As a result of the approach described in the article, a perpendicular KVP with $S_{11} < -20$ dB in a given frequency band of 9.4 GHz – 10.9 GHz is calculated.

Ключевые слова: коаксиально-волноводный переход (КВП), электромагнитный анализ пассивных трёхмерных устройств, сверхвысокая частота (СВЧ), S-параметры, многополюсник, согласование, вычислительный эксперимент на ЭВМ, радиоэлектронная аппаратура.

Keywords: coaxial waveguide junction (KVP), electromagnetic analysis of passive three-dimensional devices, ultra-high frequency (microwave), S-parameters, multipole, matching, computational experiment on a computer, radio-electronic equipment.



Редька А. В.



Ионов В. Е.



Аболдуев И. М.



Иванов К. А.



Василевский А. А.



Давлятшина А. А.

Введение

Внедрение радиоэлектроники практически во все области науки и техники требует совершенствования конструкций, уменьшения габаритов и веса, а также автоматизации производства радиоэлектронной аппаратуры (далее – РЭА). В СВЧ-технике полосковых волноводов широко используются коаксиально-полосковые переходы. Их основным параметром является коэффициент стоячей волны на входе ($VSWR_1$, S_{11}), характеризующий уровень отражений от перехода в полосе частот [1].

Основная часть

Коаксиально-полосковые волноводы разделяются на аксиальные (торцевые) и перпендикулярные [1]. В первом случае оси коаксиала и полоскового волновода совпадают или параллельны друг другу, а во втором – перпендикулярны.

В данной статье расчёт перпендикулярного КВП разбивается на пять условно независимых друг от друга частей. В каждой из пяти частей с помощью трёхмерной программы ANSYS HFSS [2, 3, 4] требуется

подобрать не более двух геометрических размеров, а часто всего один. После синтеза каждой из пяти частей найденные геометрические размеры замораживаются и осуществляется сборка всего КВП, не содержащего свободных параметров для подбора. Результаты данного подхода к расчёту перпендикулярного КВП проиллюстрированы на рис. 7 и 8.

Алгоритм расчёта

П. 1. Проектирование КВП начинается с задания частотного диапазона, например, 9,4–10,9 ГГц, и с покупной пятидесятиомной слёзки на центральную частоту 10,2 ГГц (см. рис. 1).

Слёзка выполнена из стекла $\epsilon_{ps} = 5,5$, имеет диаметр – 4 мм, высоту – 1,75 мм и диаметр внутренней жилы – 0,5 мм. В datasheet производителя слёзки не указана относительная диэлектрическая проницаемость, но её можно узнать, используя то, что в порту должно быть 50 Ом при известных геометрических размерах. Получаем, в данном случае, материал заполнения слёзки – стекло $\epsilon = 5,5$.

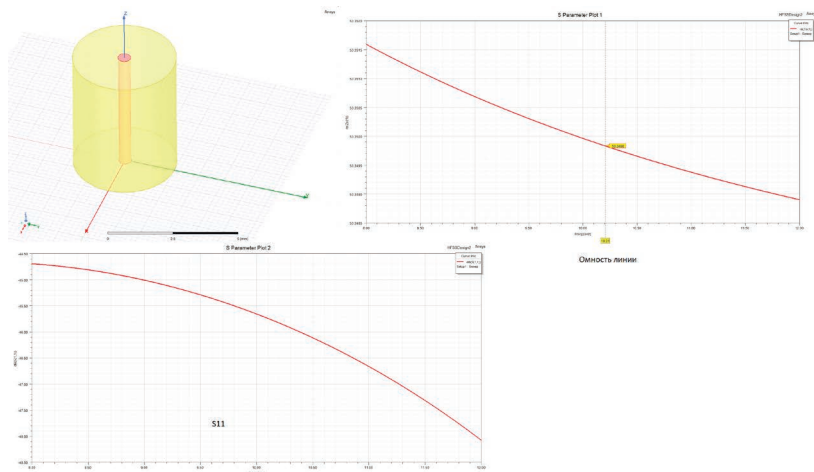


Рис. 1. 50 Ом слёзка

П. 2. Определяемся с диаметром бочонка и подбираем толщину тефлоновой шайбы. Мы стыкуем две пятидесятиомные коаксиальные линии через фторопластовую шайбу. Один коаксиал на стекле, другой на воздухе.

Определяемся с диаметром бочонка из соображений удобства сборки, например, 3 мм. Диаметр шайбы назначаем таким же – 3 мм.

Определяемся с внешним диаметром воздушной коаксиальной линии с помощью программы TXLine, т. к. воздушная коаксиальная линия должна быть пятидесятиомной.

Подбору подлежит одна переменная – толщина фторопластовой шайбы. Относительная диэлектрическая проницаемость фторопласта $\epsilon = 2,08$. Критерий подбора толщины шайбы наилучший KCB (S11).

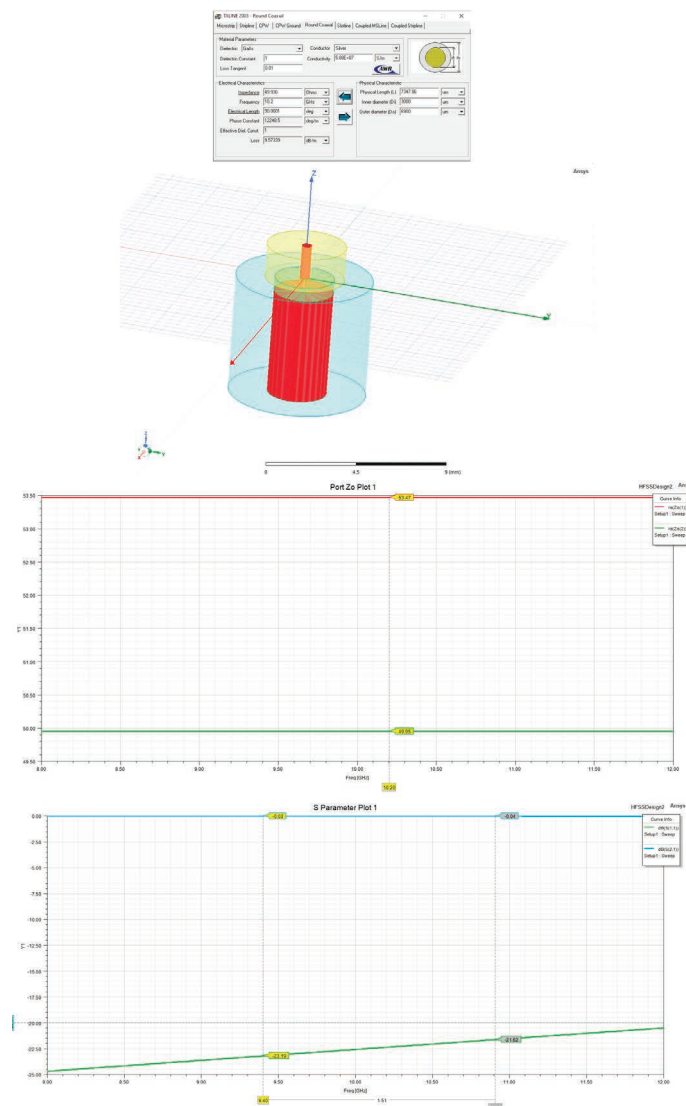


Рис. 2. Подбор толщины фторопластовой шайбы

П. 3. Далее к пятидесятиомной слёзке подбирается волноводная часть (стандартный волновод сечения 23×10 мм), содержащая два параметра подбора – расстояние от оси коаксиала до глухого торца волновода и высоту бочонка. Для расстояния от оси коаксиала до глухого торца волновода справедливо то, что укорочение длин сдвигает ямку S11 вправо по частоте. Толщина

фторопластовой шайбы подобрана до этого в п. 2, также как и выбран диаметр шайбы и бочонка, а вместо воздушной коаксиальной линии рисуется волновод стандартного сечения 23×10 мм.

Подбираются две переменные – расстояние от оси коаксиала до глухого торца волновода, а также высота бочонка.

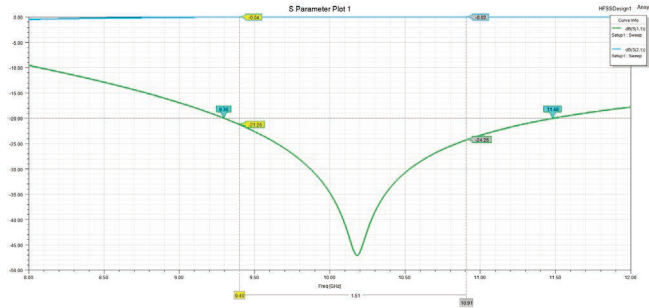
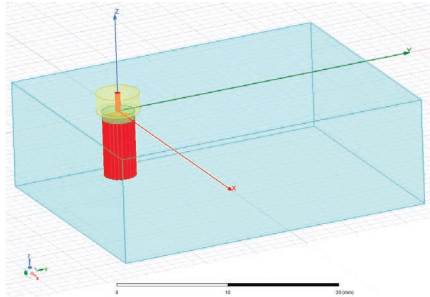


Рис. 3. Волноводная часть

П. 4. Подбор пятидесятиомной линии сверху от слёзки. Центральная жила слёзки слишком короткая, её длину необходимо нарастить надеванием латунного цилиндрика. При диаметре жилы коаксиала 0,5 мм внешний диаметр латунного цилиндрика можно сделать миллиметровым. На латунный цилиндр надевается фторопластовая прокладка. Получившаяся в итоге линия, изображенная на рис. 4, должна быть пятидесятиомной.

На грани Max Y расположено металлизированное основание (полупрозрачный цвет в красных тонах).

Голубым полупрозрачным цветом показана воздушная камера. Металлическое основание немного притоплено в тефлон, чтобы не было касания по ребру (требование сеточного генератора на основе тетраэдров). На торцах коаксиала выставлены Wave порты [4], а на остальных границах выставлено условие излучения (Radiation) [4]. Внешний диаметр латунного цилиндрика берётся разумным для удобства сборки. Размеры тефлонового цилиндрика подбираются так, чтобы линия была пятидесятиомной. Одна переменная в расчёте П. 4.

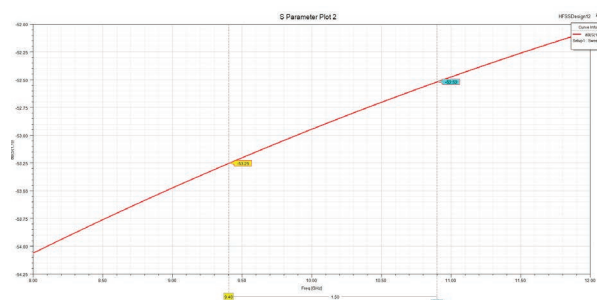
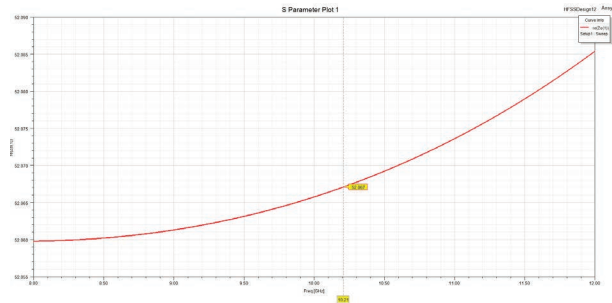
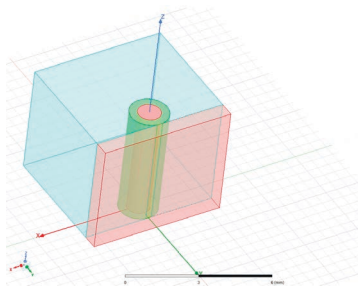


Рис. 4. Пятидесятиомная линия над слёзкой

Для подбора омности без доступа к ЭВМ справедлива следующая приближенная аналитическая формула [1]:

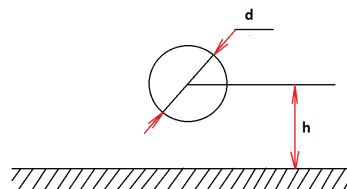


Рис. 5. К расчёту омности линии

На воздухе	$Z = 276 \times \log(1.27 \times (2 \times h/d))$	(1)
При заполнении диэлектриком с $\epsilon_r > 1$	$Z = (276/\sqrt{\epsilon_r}) \times \log(1.27 \times (2 \times h/d))$	(2)

Приведём пример: $\epsilon_r = 2,08$ для тефлона, диаметр латунного цилиндрика – 1 мм, диаметр тефлона – 1,7 мм (толщина 0,35 мм).

В программе трёхмерного моделирования ANSYS HFSS получилась, при этих параметрах, омность, равная величине 53 Ом.

$$Z = (276/\sqrt{2,08}) \times 1_g(1,27 \times 1,7/1) = 191,37 \times 0,334 = 64 \text{ Ом};$$

$$КСВН = Z_2/Z_1 = 64/50 = 1,28.$$

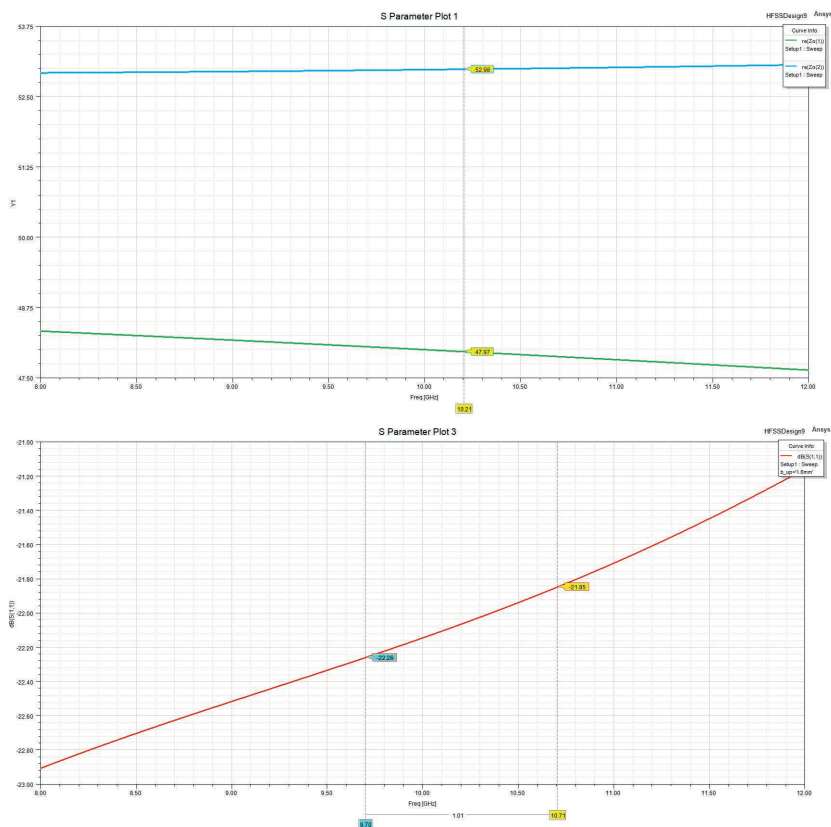
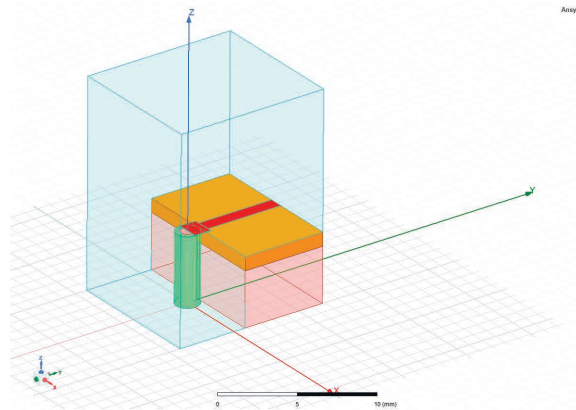


Рис. 6. Подбор перемычки

П. 5. Подбор перемычки. При подборе перемычки участвует модель, изображенная на рис. 6, с одной стороны которой пятидесятиомная микрополосковая линия (ширина полоска – 1 мм, толщина поликора – 1 мм, $\epsilon_r = 9,8$), а с другой – коаксиальная пятидесятиомная линия из п. 4. В расчёте пятой секции участвуют две переменные – ширина перемычки и то, насколько перемычка лежит

на поликоровой плате. Цель подбора двух переменных: получить как можно лучший КСВ.

П. 6. Синтез итогового перпендикулярного КВП. Далее параметры каждой из пяти секций замораживаются и собирается итоговый перпендикулярный КВП. Проверкой может служить поверочный расчёт в программе CST.

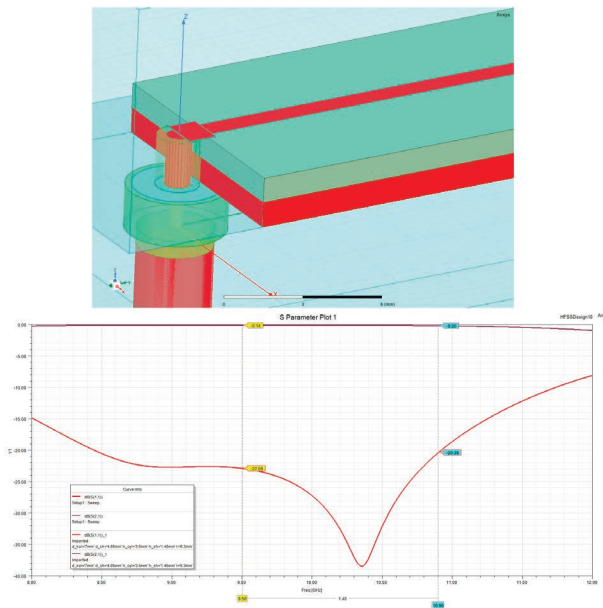


Рис. 7. Подбор перемычки

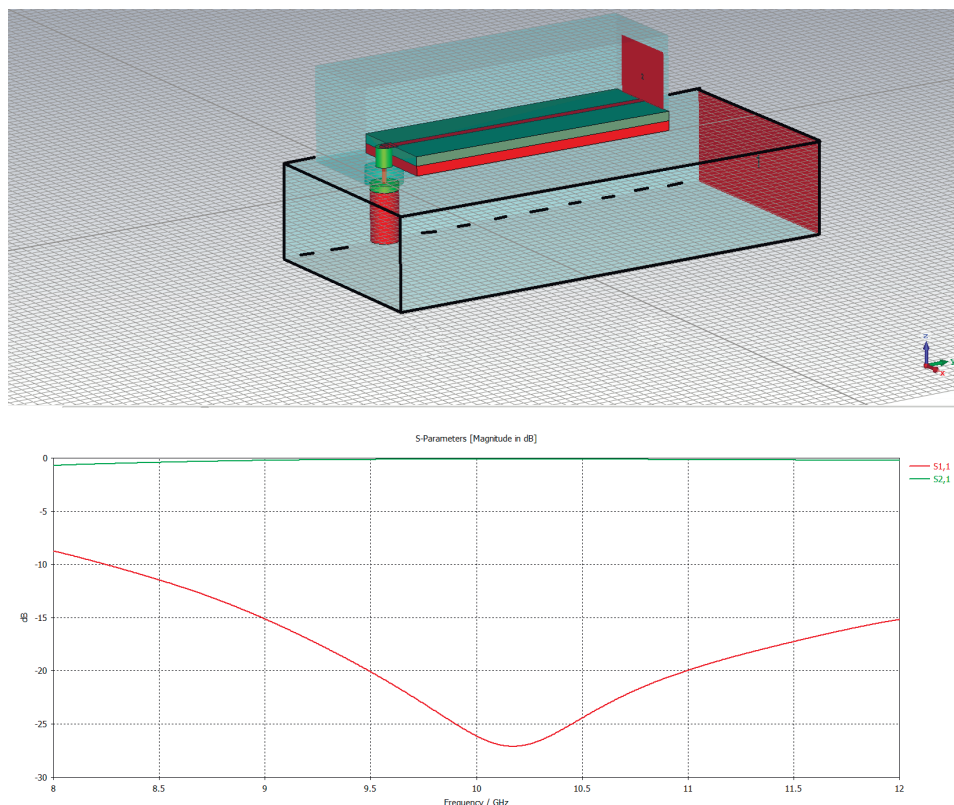


Рис. 8. Подбор перемычки

Заключение

В данной статье проектирование перпендикулярного КВП разбито на пять независимых этапов. По завершении пяти этапов найденные геометрические размеры замораживаются и осуществляется синтез перпендикулярного КВП, не содержащего свободных параметров.

В результате, на конкретном примере, по данной методологии рассчитан перпендикулярный КВП, имеющий $S_{11} < -20\text{dB}$ в заданной полосе частот 9,4 – 10,9 ГГц (см. рис. 6 и 7).

Литература

1. Конструирование и расчёт полосковых устройств. Под редакцией профессора Н. С. Ковалёва. Москва, «Советское радио», – 1974.
2. С. Е. Банков, А. А. Курушин, В. Д. Разевиг. Анализ и оптимизация СВЧ-структур с помощью HFSS. Москва, 2004.
3. С. Е. Банков, А. А. Курушин. Проектирование СВЧ-устройств и антенн с Ansoft HFSS. Москва, 2009.
4. An introduction to HFSSTM. Fundamental Principles, Concepts, and Use. Ansoft, LLC, 2009.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОДХОДА К ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

TRANSFORMATION OF APPROACH TO ORGANIZATION OF TEST PROCESS OF ELECTRONIC COMPONENT BASE AND RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT

Погосов Г. С. АО «НПЦ «МЕРА»; Pogosov G. S. JSC «SPC «MERA»
+7 (916) 128–48–34; pogosov.r@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрен принципиально новый для испытательных лабораторий (центров) (далее – ИЛ(Ц)) подход к организации процесса испытаний электронной компонентной базы (далее – ЭКБ) и радиоэлектронной аппаратуры (далее – РЭА). Несмотря на то, что слово «новизна» для данного подхода давно уже неуместна, в сфере испытаний оно, к сожалению, не применяется.

Annotation. The article discusses a fundamentally new approach for testing laboratories (centers) approach to organizing the process of testing an electronic component base and radio electronic equipment.

Ключевые слова: бережливое производство, электронная компонентная база, радиоэлектронная аппаратура, испытания, измерения, проектная деятельность.

Keywords: lean production, electronic component base, electronic equipment, testing, measurements, design activities.

Введение

Предлагаемая концепция широко используется во всём мире в различных отраслях, начиная с крупнейших автомобилестроительных гигантов и заканчивая малочисленными IT-компаниями, занимающимися разработкой программного обеспечения. Эффективность предлагаемых методик прочно зарекомендовала себя и достойна применения и в нашей с вами деятельности. Основа подобных методов управления и организации производственной деятельности корнями уходит в 1950-е гг., когда японский инженер и предприниматель Тайити Оно разработал и внедрил «производственную систему Toyota» [1]. Анализируя современную литературу, можно смело сделать выводы о том, что в основе идеи «точно вовремя», лежит принцип реализованный в супермаркетах, впервые появившихся в США. А именно, когда та или иная продукция заканчивалась на полках, ответственный работник супермаркета пополнял недостающие запасы. Японцы усовершенствовали данную идею и создали систему канбан, которая позволила значительно сократить складские запасы и избежать проблемы перепроизводства. Давайте рассмотрим, что из себя представляет система канбан и чем она может быть полезна в деятельности испытательных лабораторий.

Основная часть

В основе данной системы лежит многим известный принцип тяни-толкай. В тот момент, когда на конвейерной линии заканчиваются необходимые для производственного процесса детали, рабочий, используя специальные карточки, сигнализирует о необходимости пополнить запасы. Систему канбан можно использовать в разных аспектах лабораторной деятельности. Начиная от планирования, разработки и производства специализированной испытательной и измерительной оснастки и заканчивая оснащением лаборатории необходимыми комплектующими материалами и оборудованием, а также и для организации непосредственно самих испытаний. Иными словами, система канбан представляет собой непрерывный процесс.



Погосов Г. С.

Полноценная лабораторная деятельность тесно связана с процессом производства, например, ни одни сертификационные испытания не обходятся без острой необходимости использовать измерительную оснастку, неправильно организованный процесс разработки которой влечёт за собой значительные временные и материальные затраты [2]. При этом потеря времени может сыграть значительно более злую шутку с лабораторией, нежели завышение первоначально озвученной стоимости работ. Увеличение затрат в конце концов можно компенсировать из собственных средств, а срыв срока государственного оборонного заказа компенсировать не удастся. Подобные системы и идеи могут быть реализованы только при использовании комплексного подхода. Под комплексным подходом здесь подразумевается совершенный процесс организации как лабораторной, так и поставочной деятельности. В данном примере ни один из этих процессов нельзя определить, как ключевой. Грамотно организованная поставка электронной компонентной базы иностранного производства (ЭКБ ИП), основанная на базовых принципах планирования и выбора высококвалифицированных партнеров, вкупе с грамотно организованной лабораторной деятельностью позволяет в полной мере реализовать комплексный подход.

Комплексный подход должен включать в себя принципы постоянного совершенствования всех стандартных (стандартизированных) процедур. Философия принципа постоянного совершенствования также глубоко уходит корнями в Японию и называется кайдзен [3, 4]. На текущий момент существуют проблемы в обоих видах деятельности. Тема организации поставочной деятельности в рамках данной статьи не рассматривается и заслуживает отдельного внимания.

Рассмотрим в качестве одного из примеров, когда целесообразно использовать систему канбан, этап входного контроля. Входной контроль подразумевает под собой череду процессов и операций, поочередно выстроенных друг за другом и напоминающих производственный процесс на конвейерной линии. В соответствии с ГОСТ РВ 0015–308–2017 [5] входной контроль включает в себя несколько основных операций, таких как контроль сопроводительной документации, проверка массогабаритных

и присоединительных размеров, проверка качества маркировки и параметрический контроль, являющийся наиболее сложной и трудоёмкой операцией, требующей использования измерительных оснасток. Номенклатура, предназначенная для испытаний, часто представляет из себя десятки и даже сотни типаноминалов. Любой входной контроль начинается с изучения англоязычной технической документации, подготовки специализированных таблиц для записи массогабаритных и присоединительных размеров, но наиболее трудоёмкой операцией является переналадка рабочего места, предназначенного для измерения электрических параметров. Для автоматизации входного контроля и во избежание скапливания не подвергнутых параметрическому контролю компонентов поможет система канбан, позволяющая перемещать компоненты от предыдущего процесса к последующему именно в тот момент, когда для этого появилась потребность. Ниже представлен типовой алгоритм проведения входного контроля (рис. 1).

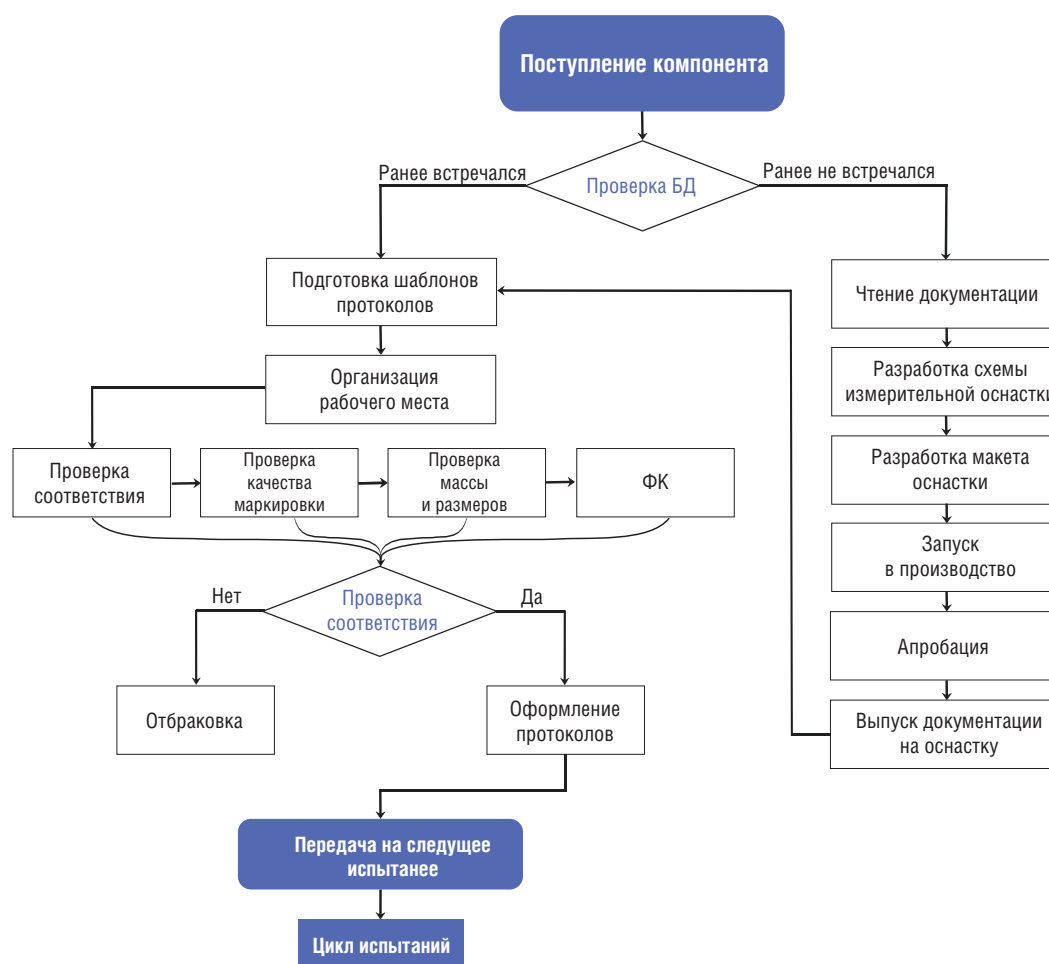


Рис. 1. Типовой алгоритм проведения входного контроля

Реализовать процесс можно как в виде классической доски канбан, так и при помощи автоматизированных ERP-систем (аббревиатура ERP означает Enterprise Resource Planning, т. е. «планирование ресурсов предприятия»). На рис. 2–8 представлен пример организации входного контроля посредством канбан доски, реализованной с помощью онлайн-инструмента Trello.

Как вы можете видеть, карточки на доске канбан имеют различные статусы, которые позволяют держателю следующего процесса понять, что та или иная микросхема «освободилась» и может быть взята в работу. Карточки интерактивно перетаскиваются, пока все не окажется на доске «Выполнено». Также немаловажно правильно расположить рабочие места, чтобы с наименьшими перемещениями была возможность передавать тот

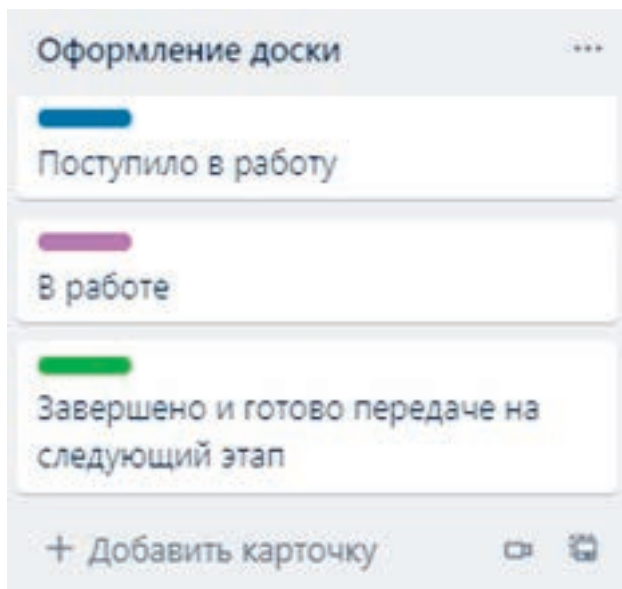


Рис. 2

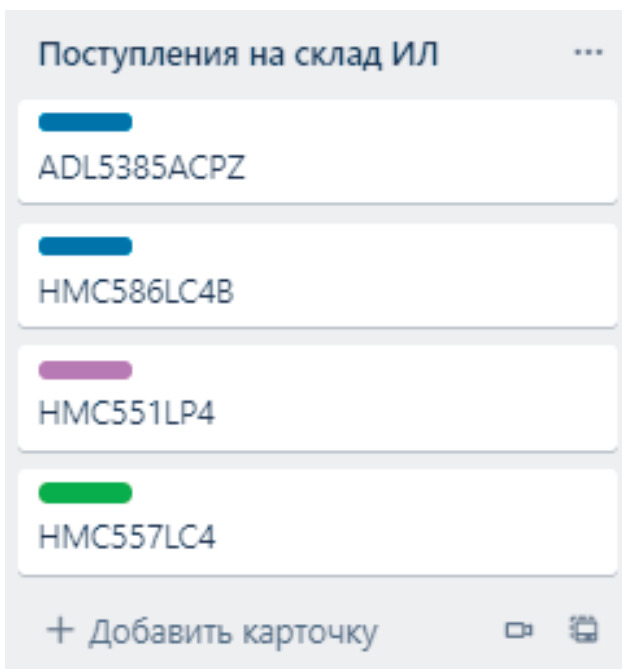


Рис. 3

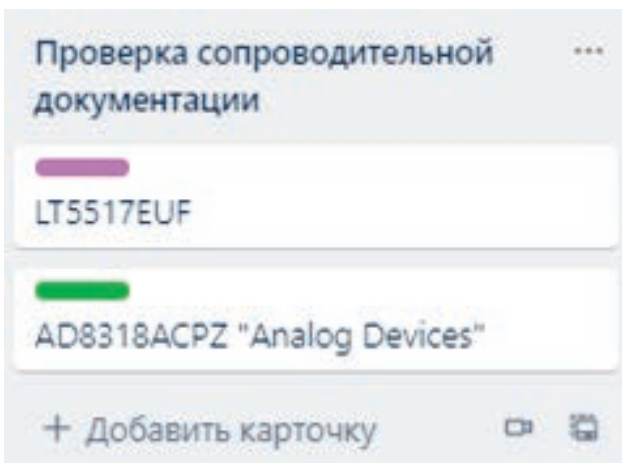


Рис. 4

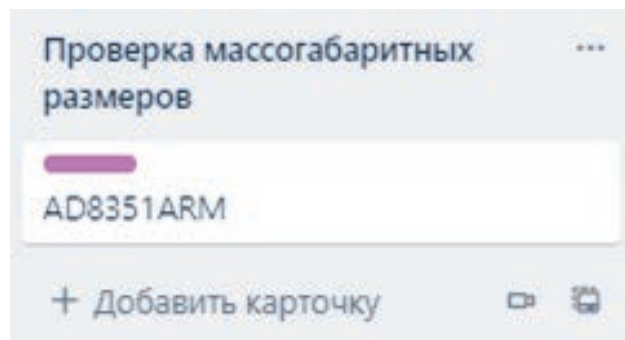


Рис. 5

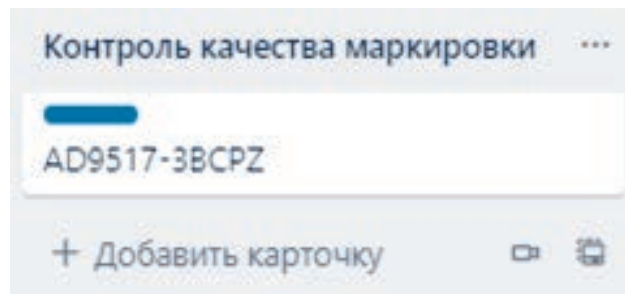


Рис. 6

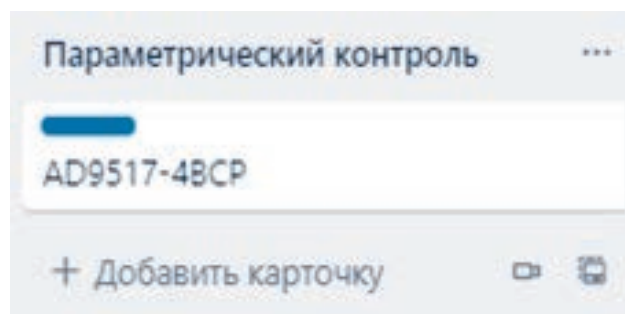


Рис. 7

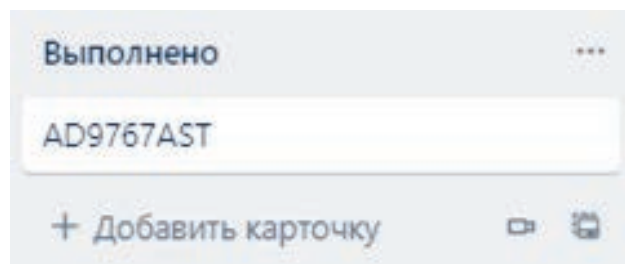


Рис. 8

или иной компонент от одной операции к другой. А использование ERP-систем позволит упростить и ускорить совместную работу. Таким образом, с помощью бесплатного инструмента канбан процесс входного контроля можно превратить в автоматизированную саморегулируемую систему.

Выше по тексту уже упоминалась стандартизация, а именно наличие стандартных процедур, описывающих те или иные процессы, присущие лабораторной деятельности. Стандарт является

неотъемлемой и наиболее важной частью системы менеджмента (далее – СМ) лаборатории. СМ – это развивающаяся, растущая и гибкая система, а стандарт – это сердце, снабжающее систему кислородом и делающее её живой. Данный эпитет применён здесь нарочно, т. к., к сожалению, практика показала, что СМ большинства лабораторий «мёртвые». Иными словами, о них вспоминают один-два раза в год во время разнообразных аудитов и внешних проверок. Правильная СМ должна способствовать развитию и самообучению лаборатории, о базовых принципах самообучения мы поговорим немного позже. Основной целью внедрения системы менеджмента является достижения наивысшего качества оказываемых услуг. Итак, давайте вернёмся к стандартам, неотъемлемой части любого производственного процесса, который должен быть тщательнейшим образом описан и задокументирован. Процесс в свою очередь представляет из себя череду действий. Подробное описание каждого действия и есть стандарт, взяв в руки который, любой сотрудник сможет повторить действие или операцию, описанную стандартом. Таким образом, чем более качественно описана та или иная процедура, тем меньше шансов допустить ошибку, побочным эффектом которой может послужить некорректная трактовка результатов испытаний и измерений, а как итог, некачественно оказанная услуга, подрыв доверия и подмоченная репутация.

Основной причиной нежизнеспособности СМ, а именно такой системы, в поддержании и реализации которой не заинтересован рядовой персонал, является крайняя его отстранённость от разработки, поддержания и совершенствования стандартов системы. В данном контексте речь идёт о том, что стандарты системы пишутся людьми, находящимися вне производственного процесса, людьми, не стоящими непосредственно у «станка». В 99 % случаев стандарты пишутся отделом качества и преподносятся непосредственно рабочему персоналу в виде некоего готового продукта. В противовес этой укоренившейся и застоялой системе руководителями лидирующих производственных мировых компаний предлагается максимальное задействование рядового персонала в процессе написания, поддержания и модернизации всех стандартов предприятия. Инициатором любого совершенствования должен быть рядовой сотрудник. Никто лучше него не выявит тонкости и хитрости, позволяющие ускорить тот или иной рабочий процесс, таким образом после апробации подобных явлений стандарт может быть модернизирован. Циклическая ступенчатая последовательность регулярных действий, состоящих из модернизации, апробации и внедрения, и есть путь постоянного совершенствования, в котором должны быть задействованы все винтики большой производственные машины. Люди, стоящие в отрыве от подобного рода процессов и явлений, априори не могут быть заинтересованы в цикле постоянного совершенствования действующих стандартов.

Задачи, стоящие перед отделами качества, намного шире и сложнее, нежели написание

(а порой переписывание) стандартов предприятий, разнообразных инструкций и типовых методик.

Первостепенной задачей является «оживление» действующей СМ. Для её реализации необходимо на предприятии создать благоприятную атмосферу, способствующую желанию рядового персонала заниматься постоянным самосовершенствованием.

Второй по степени важности задачей, как бы банально это ни звучало, является обучение сотрудников самостоятельному обучению методами создания особого микроклимата в организации, начиная от внедрения систем мотивации и поощрения сотрудников, в т. ч. нематериальных, и заканчивая внедрением систем подачи рациональных предложений. При этом сотрудники должны понимать, что даже самые простые, на первый взгляд, глупые предложения могут в конечном итоге для предприятия иметь высокую ценность.

Например, простая перекомпоновка испытательных стендов может обеспечить создание единой, непрерывной испытательной цепи, что в конечном итоге позволит сократить время, потраченное на лишние перемещения. Подобного рода простые, но регулярные улучшения существующих стандартов и существующей системы позволяют обеспечить постоянное повышение качества оказываемых услуг. Заинтересованный персонал – залог стабильного качества и высокой степени удовлетворённости заказчиков.

Заключение

Описанные выше постулаты, несказанно важны для обеспечения качества, однако, к нашему с вами сожалению, они не будут работать без соблюдения одного самого главного правила. Без вовлечённости высшего руководства и его глубокой интеграции в кайдзен-процессы. Чем больше руководящий состав ратует за трансформацию подхода к управлению испытательной лабораторией и организации процесса испытаний электронной компонентной базы, тем выше шанс достижения успеха. Таким образом, твёрдым фундаментом, гарантирующим качественное построение совершенной системы, является внедрение сверху вниз. Участие высшего руководства в жизни предприятия – обязательная часть кайдзен.

Литература

1. Джеффри Лайкер «Дао Toyota: 14 принципов менеджмента ведущей компании мира», Альпина Паблишер, Москва, 2012.
2. Погосов Г. С. Вопросы обеспечения качества проведения испытаний ЭКБ. Требования к измерительной оснастке. Журнал «Радиоэлектронная отрасль: Проблемы и их решения» № 2 2021, с. 33.
3. Масаки Имаи «Кайдзен. Ключ к успеху японских компаний», Альпина Паблишер, Москва, 2021.
4. Масаки Имаи «Гемба кайдзен. Путь к снижению затрат и повышению качества», Альпина Паблишер, Москва, 2019.
5. ГОСТ РВ 0015–308–2017 Система разработки и постановки на производство военной техники. Входной контроль изделий. Основные положения.

СТОЙКОСТЬ НЕКОТОРЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ К ВОЗДЕЙСТВИЮ СПЕЦИАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ

RESISTANCE OF SOME POLYMER MATERIALS TO THE IMPACT OF SPECIAL FACTORS

Зелякова Т. И., к. т. н., Лучкина М. Е., Овчинникова С. А., Рубан С. О.

ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России; +7 (495) 471–30–23; 320tdel@mail.ru

Zelyakova T. I., Ph.D., Luchkina M. E., Ovchinnikova S. A., Ruban S. O. 46 Central Research Institute Ministry of Defense of the Russian Federation; +7 (495) 471–30–23; 320tdel@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментальных исследований радиационной стойкости некоторых полимерных материалов, которые могут быть использованы в конструкции полупроводниковых приборов и интегральных микросхем, предназначенных для эксплуатации в радиоэлектронной аппаратуре ракетно-космической техники.

Annotation. The article presents the results of experimental studies of the radiation resistance of some polymeric materials that can be used in the design of semiconductor devices and integrated circuits intended for operation in radio-electronic equipment of rocket and space technology.

Ключевые слова: полимерные материалы, радиационная стойкость, электрическая прочность, термопласты, пленочные диэлектрики, слоистые пластики, лакоткани, компаунды, резины, клеи, лаки.

Key words: polymeric materials, radiation resistance, dielectric strength, thermoplastics, film dielectrics, laminated plastics, varnished fabrics, compounds, rubbers, glues, varnishes.



Зелякова Т. И.



Лучкина М. Е.



Овчинникова С. А.



Рубан С. О.

Введение

Номенклатура материалов, используемая при производстве электрорадиоизделий (ЭРИ), содержит более пяти тысяч марок материалов. Особую группу среди них занимают конструкционные материалы, которые входят в состав изделий в виде функциональных и конструктивных элементов, деталей и покрытий, предназначенных для эксплуатации в радиоэлектронной аппаратуре ракетно-космической техники. Эти материалы определяют эксплуатационные характеристики изделий, надёжность ЭРИ, а, следовательно, и долговечность космических аппаратов (КА). К данным материалам предъявляется широкий комплекс требований стойкости к внешним воздействующим факторам (ВВФ), в т. ч. и специальным (СФ). Определение радиационной стойкости материалов является одним из важных элементов задачи обеспечения надёжности и безотказности бортовой аппаратуры и КА в целом. Требования стойкости ЭРИ к ВВФ, в т. ч. предназначенных для комплектации РЭА РКТ, установлены в комплексах государственных военных стандартов (КГВС) «Климат-8».

Основная часть

Параметры ЭРИ для радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) ракетно-космической техники (РКТ) в определяющей степени зависят от электрических и других характеристик материалов, из которых они изготавливаются. Для правильного выбора указанных материалов необходимо знать эффекты воздействия на эти материалы ВВФ, в т. ч. и специальных (гамма-квантов, тепловых и быстрых нейтронов, ускоренных электронов).

Развитие химии органических материалов, возможности создания новых видов таких материалов для целевого применения, высокая технологичность и дешевизна способствовали широкому использованию их в электронной промышленности в конструкции полупроводниковых приборов (ПП) интегральных микросхем (ИМС) для РЭА РКТ. По своим физико-техническим свойствам, эксплуатационным характеристикам и назначению эти материалы можно разделить на термопласты, плёночные диэлектрики, слоистые пластики, лакоткани, компаунды, резины, клеи, лаки, покрытия.

Полимеры, как и полупроводниковые материалы, чувствительны к воздействию радиации. Прочность

связей в молекуле полимера сравнительно низкая. Поэтому при воздействии ионизирующего излучения (ИИ) в полимере происходят значительные изменения: длинные цепи могут сшиваться в трёхмерные сетки или разрываться, т. е. происходит деструкция полимерного материала. Образование летучих продуктов деструкции обуславливает выделение газов и низкомолекулярных фрагментов, которые могут оказывать корродирующее действие на конструкционные материалы и приводить изделия полупроводниковой электроники к катастрофическим отказам. Также при протекании деструкции средняя молекулярная масса полимера убывает, это приводит к охрупчиванию и усадке изолирующих полимерных материалов и снижает способность изоляции выдерживать электрические нагрузки. Электрический пробой является вредным и опасным явлением, способным вывести из строя аппаратуру КА.

В табл. 1 приведены результаты определения газовыделения образцов полимеров массой 0,2–0,5 г при воздействии ионизирующего излучения в реакторе дозой 107 Грей (Гр).

Экспериментальные данные для известных полимеров свидетельствуют о взаимосвязи газовыделения полимеров и их химического строения. Совершенно очевидно, что основополагающими факторами, определяющими газовыделение различных полимеров, являются особенности химического строения элементарного звена полимера. Наиболее стойкими являются полимеры, в состав элементарного звена которых входит бензольное кольцо, обладающее повышенным потенциалом ионизации. После прекращения облучения возможны реакции возникших радикалов и дальнейшее изменение свойств полимеров. Существует мнение, что разрушение полимера в любых условиях происходит необратимо, так что изменения свойств полимера накапливаются во времени [1].

Одной из оптических характеристик полимеров, существенно изменяющихся в процессе воздействия ИИ, является коэффициент светопропускания. Снижение светопропускания может происходить по всему спектру видимого диапазона или же в отдельных его частях. Повреждающий эффект определяется

энергией, поглощаемой облучаемым материалом в расчёте на единицу массы, т. е. поглощённой дозой. При этом изменение светопропускания у разных по составу оптопрозрачных материалов может быть как полностью необратимым за счёт образования в процессе облучения стабильных хромофорных групп, так и обратимым с большим временем релаксации за счёт захвата электронов в разные по глубине ловушки – центры окраски.

Как известно, нарушение связей в полимерных цепочках молекул при воздействии ИИ влечёт за собой изменение механических свойств материала. В качестве универсальной меры, характеризующей совокупность эффектов в материалах, является поглощённая доза, т. е. количество энергии, переданное материалу излучением в расчёте на единицу массы и вызывающая эффект. Наиболее подвержены воздействию радиации конструкционные клеи. Ухудшаются также диэлектрические показатели компаундов, снижается их электрическая прочность.

Физика взаимодействия ИИ с полимерами сложна и обширна. В настоящее время главным источником информации являются эмпирические данные, полученные в специальных или натуральных испытаниях. В работе [2] изучен характер изменения различных свойств полимеров при воздействии СФ и определены поглощённые дозы ИИ каждым из полимеров, при которых не происходит их разрушение. Установлено, что при воздействии СФ существенные изменения некоторых показателей прочности, таких как: предел прочности при растяжении, относительное остаточное удлинение, модуль упругости при 100 %-м удлинении, твёрдость, хрупкость, электрическая прочность, диэлектрические характеристики у большинства компаундов происходят, начиная с поглощённой дозы 106 рад, а электрическое сопротивление снижается на 1–6 порядков. Однако эти изменения носят обратимый характер и восстанавливаются через некоторое время после прекращения воздействия СФ.

Воздействие СФ на пресс-материалы приводит к их быстрому окислению, что снижает их прочность, изоляционные свойства и повышает водопоглощение. Кроме того, выделяющиеся при облучении пресс-материалов продукты радиолитического распада могут вызывать

Таблица 1

Материал	Газовыделение, см ³ /ч
Полистирол	1–1,5
Полихлорвинил	6–9
Полиметилметакрилат	30–35
Фенолформальдегидная смола	3
Натуральный каучук	7
Нитрильный каучук	5–10
Неопрен	2–4
Кремнийорганический каучук	20
Полисульфидный каучук	6

коррозионную активность. При достижении определённой концентрации влаги содержание ионогенных примесей вблизи рабочих поверхностей полупроводникового прибора оказывается достаточным для возникновения отказа в результате коррозионного разрушения.

При действии СФ также повышается жёсткость пресс-материалов. Электрическая прочность пресс-материалов практически не меняется до поглощённых доз 108–109 рад.

Стойкость пластиков к воздействию СФ определяется природой связующего и, в значительной степени, типом армирующих материалов. У армированных пластиков, в которых используются стеклоткани, механические свойства начинают изменяться при поглощённых дозах 108–109 рад. Значительные изменения прочности текстолитов на текстильной основе и гетинаксов соответствуют поглощённой дозе 106–107 рад. Поверхностное электрическое сопротивление армированных пластиков необратимо ухудшается, увеличиваются диэлектрические потери.

Поведение волокнистых материалов при воздействии СФ определяется в основном их химической природой и технологией изготовления. Целлюлозные, хлопковые, вязкозные и ацетатные волокна деструктируют при воздействии СФ и имеют низкую стойкость, соответствующую поглощённой дозе не более 107 рад. Наиболее высокой стойкостью обладают полиэфирные, акрилонитрильные и полиэтилентерефталатные волокна. Поглощённая доза, при которой наблюдаются значительные изменения их свойств, превышает 107 рад.

Лакокрасочные покрытия представляют собой многослойные и многокомпонентные системы на основе органических продуктов с добавками минеральных пигментов и наполнителей. Поэтому их стойкость к воздействию СФ зависит от стойкости всех компонентов. Изменения свойств лакокрасочных покрытий при воздействии СФ начинаются уже при поглощённых дозах около 105 рад. Наиболее подвержены изменениям такие свойства как эластичность, прочность при ударе и электрическое сопротивление, которое составляет несколько порядков, однако эти изменения носят обратимый характер.

Для большинства резин наиболее подверженными действию СФ по физико-механическим показателям является относительное удлинение молекул при разрыве. Способность резин и герметиков к длительной эксплуатации в условиях воздействия СФ определяется динамическим модулем и модулем вязкости. С ростом поглощённой дозы динамический модуль резко возрастает. Диэлектрические свойства для большинства резин и герметиков при воздействии СФ ухудшаются.

Специалистами научно-исследовательских организаций Минобороны России проведены целенаправленные теоретические и экспериментальные исследования влияния различных видов СФ на органические материалы. В работе [2] приведены экспериментальные данные исследований воздействия СФ на полипропилен, полиэтилен высокого давления, эластичные компаунды ЭЭК-67 и КП-18, пресс-материалы К-123-47, КФ-10 и СНК-2-27, полиамид-68 и поливинилхлорид. Отмечено, что параметры органических материалов, определяющие их механические свойства, начинают изменяться при уровнях воздействия гамма-излучения на порядок меньших или равных максимальным требованиям КГВС «Климат-8» для ЭРИ, в которых применяются эти материалы. Снижение указанных параметров на 30 % происходит при уровнях воздействия гамма-излучения от нескольких единиц до нескольких десятков превышающих максимальные требования КГВС «Климат-8», т. е. эти требования заданы со значительной избыточностью.

В [3] приведены экспериментальные результаты относительной радиационной стойкости некоторых материалов, которая определена по изменению механических свойств. Данные хорошо согласуются с экспериментальными данными [2], актуальны и сегодня. Из приведённых выше результатов эксперимента следует, что диэлектрические характеристики полимеров после облучения даже большими дозами ИИ остаются достаточными для их практического использования. В табл. 2 приведена относительная стойкость разных материалов, определённая для твёрдых материалов по изменению разрушающего напряжения при растяжении, а для эластомеров – по удлинению.

Таблица 2

Относительная радиационная стойкость материалов

	Доза, Гр*, при которой наблюдаются:		
	едва заметные изменения	изменения на 25 %	умеренные и сильные изменения (допустимо ограниченное использование)
Полистирол	$3 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^8$
Эпоксисмола	$2 \cdot 10^6$	$3,4 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^8$
Полиамиды	$1 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^7$
Плёнка полиимидная	$1 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^8$
Эпоксидная смола	$1 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^7$
Поливинилхлорид	$6 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$

Продолжение табл. 2. Начало на стр. 20

Фенольная смола	$4 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^7$
Полиэтилентерефталат	$2,5 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$
Полиуретан	$1 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^7$
Текстолит на фенольной основе	$2 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^7$
Полиуретановый каучук	$1 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^6$
Неопреновый каучук	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^6$
Кремнийорганический эластомер	$1 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^6$
Резина на основе натурального каучука	$1 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^6$
Политетрафторэтилен	$2 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$
<i>*Примечание: 1 Грей (Гр) = 100 рад</i>			

Как указано выше, радиационная стойкость органических полимеров определяется поглощённой дозой. В качестве критериальных параметров при оценке радиационной стойкости полимера выбраны снижение показателей механической прочности вдвараза, а также снижение пробивного напряжения на постоянном токе – в два раза. Поэтому доза, при которой наблюдаются едва заметные изменения, и изменения на 25 % разрушающего напряжения при растяжении полимера не приводят к отказу ЭРИ, и только в случае дозы, при которой происходит снижение показателей механической прочности в два раза, приведёт к 100 %-му отказу ЭРИ.

При проектировании систем электрооборудования главной задачей является обеспечение высокой надёжности при его эксплуатации в течение длительного времени. Учитывая, что основным элементом большинства электротехнических изделий являются полимерные материалы, то эти данные можно использовать на практике для предварительной оценки радиационной стойкости электроизоляционных материалов. Известны экспериментальные данные [3], которые показывают, что срок службы изоляции обмоточных проводов при одновременном воздействии ИИ и повышенной температуры значительно отличается от срока их службы при тех же последовательных воздействиях. Например, одновременное воздействие гамма-излучения и повышенной температуры обеспечивает значительно больший срок службы полиимида и полисилоксана, чем только термическое старение при той же температуре. Политетрафторэтилен при одновременном воздействии гамма-излучения и повышенной температуры разрушается значительно быстрее. Скорость разрушения натурального каучука возрастает при повышении температуры, в то время как для полиимидной плёнки она значительно уменьшилась.

Таким образом, при одновременном воздействии нескольких факторов одни полимеры разрушаются значительно быстрее,

у других в этом случае увеличивается срок службы. Необходимо отметить, что скорость старения полимера различается даже в пределах одного класса полимеров. Поэтому каждый полимерный материал должен быть исследован индивидуально.

Заключение

Из аналитического обзора следует:

1. Для принятия решения об использовании того или иного полимера в РЭАПКТ, каждый полимерный материал должен быть исследован индивидуально с учётом воздействующих факторов – температуры, давления, мощности дозы, атмосферных условий на радиационную стойкость этого полимера.

2. Радиационная стойкость органических полимеров определяется поглощённой дозой, стойкостью полимерной основы, характеристикой окружающей среды. ИИ индуцируют ряд химических реакций, изменяющих строение полимерных молекул, что в свою очередь ведёт к изменению их физических и электрофизических характеристик.

3. Особую чувствительность к ИИ проявляют:

- оптические изделия;
- волоконно-оптические линии;
- конструкционные элементы из полимерных и композитных материалов, в т. ч. термопласты, плёночные диэлектрики, слоистые пластики, ленточные композиты, резины, клеи, лак и др. защитные покрытия;
- тонкоплёночные диэлектрические покрытия в составе различных элементов.

Литература

1. Эмануэль Н. М. и др. Химическая физика старения и стабилизации полимеров. – М.: Наука, 2010. – 359 с.
2. Научно-технический отчет о НИР «Исследования полупроводниковых и органических материалов на стойкость к воздействию специальных факторов», шифр «Просветленность» – Мытищи: ФГУП «22 ЦНИИ Минобороны России», 2005 г.
3. Диэлектрические свойства полимеров в полях ионизирующих излучений/ А. П. Тютнев и др. – М.: Наука, 2005. – 453 с.

УДК 621.3.019.3

О ВОЗМОЖНОМ СОКРАЩЕНИИ ОБЪЁМА ИСПЫТАНИЙ ПРИ ПОДТВЕРЖДЕНИИ ТРЕБОВАНИЙ К СОХРАНЯЕМОСТИ

ABOUT A POSSIBLE REDUCTION IN THE VOLUME OF TESTS WHEN CONFIRMING THE PERSISTENCE REQUIREMENTS

Синельников Ю. Г., Рыбаков А. К. ФГБУ «ВНИИР»; Sinelnikov Y. G., Rybakov A. K. FSBI «VNIIR»;
+7 (495) 586–17–21; sinelnikov@vniir-m.ru, rybakov@vniir-m.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы сокращения продолжительности проведения испытаний и объёма выборки при подтверждении требований к сохраняемости на этапе разработки изделий ЭКБ за счёт оптимизации последовательности проведения испытаний, их ускорения форсированием условий хранения и применения метода статистического прогнозирования тренда технических параметров изделий. Приведённые в статье основные положения методики оценки выполнения требований к сохраняемости основаны на положениях действующих стандартов в области надёжности ЭКБ, что делает возможным их применение при разработке методик испытаний на сохраняемость изделий ЭКБ на этапе разработки и при проведении испытаний на сохраняемость в рамках типовых испытаний.

Annotation. The article discusses the issues of reducing the duration of testing and the sample size when confirming the requirements for preservation at the stage of development of ECB products by optimizing the sequence of tests, accelerating them by forcing storage conditions and using the method of statistical forecasting of the trend of technical parameters of products. The main provisions of the methodology for assessing compliance with the requirements for preservation given in the article are based on the provisions of the current standards in the field of ECB reliability, which makes it possible to apply them in the development of test methods for the preservation of ECB products at the development stage and during preservation tests within the framework of standard tests.

Ключевые слова: электронная компонентная база, испытания на сохраняемость, оптимизация испытаний, сокращение продолжительности испытаний, форсирование условий хранения, метод статистического прогнозирования тренда технических параметров изделий.

Keywords: electronic component base, preservation tests, optimization of tests, reduction of test duration, forcing storage conditions, method of statistical forecasting of the trend of technical parameters of products.

Введение

Современные требования к надёжности радиоэлектронной аппаратуры (далее – РЭА) требуют достижения соответствующего уровня надёжности электронной компонентной базы (далее – ЭКБ), как основы её функционирования. Высокие показатели надёжности обуславливают продолжительность жизненного цикла изделий более 35 лет, что не позволяет проводить натурные испытания на надёжность в разумные сроки, особенно на этапе разработки ЭКБ. При этом для вновь разрабатываемых изделий ЭКБ в технических заданиях задаются довольно высокие требования по вероятности безотказной работы и доверительной вероятности подтверждения показателей надёжности, вплоть до значений 99,99 %.

В связи с этим, при выполнении опытно-конструкторских работ предприятия-разработчики зачастую сталкиваются с необходимостью изготовления до нескольких тысяч опытных образцов для корректного подтверждения требований ТЗ по надёжности. Такие объёмы выборок, зачастую, превышают планируемый объём производства и существенно удорожают разработку новых образцов ЭКБ, а продолжительность проведения испытаний, даже в форсированных режимах и условиях, не укладывается во временные рамки выполнения опытно-конструкторских работ.

Основная часть

Согласно стандарту [1]: «Надёжность есть свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих



Синельников Ю. Г.



Рыбаков А. К.

способностью объекта выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, стратегиях технического обслуживания, хранения и транспортирования».

Далее в стандарте дано определение: «Срок сохраняемости есть календарная продолжительность хранения и (или) транспортирования объекта, в течение которой значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять заданные функции, остаются в пределах, установленных в документации».

Также в современных стандартах применительно к испытаниям на сохраняемость установлены следующие «требуемые функции» и критерии их выполнения:

1) отсутствие механических повреждений, приведших к потере работоспособности;

2) параметры-критерии годности (далее – ПКГ) соответствуют заданным нормам;

3) внешний вид изделий соответствует заданным требованиям;

4) кратковременные испытания на безотказность «в конце» испытаний на сохраняемость признаны положительными.

Первые три критерия проверяются перед испытаниями, в процессе испытаний с заданной периодичностью и после испытаний.

Четвёртый критерий проверяется «в конце» (т. е. после) или, в необходимых случаях, в процессе испытаний на сохраняемость (в течение второй половины срока сохраняемости); т. е. четвёртую «требуемую функцию» и критерии её выполнения возможно привязать к «условной» выработке ресурса по хранению. Условной, потому что гамма-процентный срок сохраняемости задаётся директивно, а не по результатам определительных испытаний.

В технических заданиях на разработку ЭКБ, как правило, задаются показатели сохраняемости для условий хранения в упаковке изготовителя в отапливаемых хранилищах, а также в неотапливаемых хранилищах и под навесами для всех климатических районов (кроме районов с тропическим климатом). Кроме того, могут задаваться показатели сохраняемости для условий хранения в составе защищённой и незащищённой аппаратуры или комплектов ЗИП во всех местах хранения для всех климатических районов (кроме районов с тропическим климатом).

Так как условия хранения изделий под навесом являются наиболее жёсткими по отношению к условиям хранения в неотапливаемых хранилищах и равноценными для условий хранения изделий в составе аппаратуры и комплектах ЗИП на открытой площадке, стандартами предусмотрено проведение испытаний образцов ЭКБ на сохраняемость в условиях отапливаемых хранилищ и под навесом. При этом необходимо учитывать, что показатели сохраняемости задаются для всех климатических районов и, соответственно, должны подтверждаться для всех климатических районов, что достигается выбором максимальных (верхних) значений климатических параметров среды при расчёте продолжительности, цикличности и уровня воздействия внешних факторов при испытаниях.

Согласно требованиям нормативных документов, продолжительность испытаний на сохраняемость $\tau_{и}$ должна быть равной T_{cy} :

$$\tau_{и} = T_{cy} \quad (1)$$

В стандартах также задано соотношение для определения времени оставшегося хранения в условиях отапливаемых хранилищах после хранения изделий под навесом:

$$\tau_{хр}^{от} = T_{cy}^{от} - K_c \tau_{хр}^{нав} \quad (2)$$

где: $T_{cy}^{от}$ – заданный в технических заданиях показатель гамма-процентного срока сохраняемости изделий в отапливаемом хранилище, лет;

K_c – заданный в технических заданиях коэффициент сокращения $\tau_{хр}^{нав}$ при хранении изделий под навесом;

$\tau_{хр}^{нав}$ – время хранения изделий под навесом.

Переходя к времени проведения испытаний из (1) и (2) справедливо следующее выражение:

$$\tau_{и}^{от} = T_{cy}^{от} - K_c \tau_{и}^{нав} \quad (3)$$

где: $\tau_{и}^{от} = \tau_{хр}^{от}$ – продолжительность нормальных испытаний изделий в условиях отапливаемых хранилищ, лет;

$\tau_{и}^{нав} = \tau_{хр}^{нав}$ – продолжительность нормальных испытаний изделий в условиях хранения под навесом при известном (заданном) времени хранения изделий под навесом, лет.

Из (3) получаем выражение, подтверждающее возможность «условной» выработки общего ресурса изделия по хранению при продолжительности испытаний $\tau_{и}$:

$$\tau_{и} = \tau_{и}^{от} + K_c \tau_{и}^{нав} = T_{cy}^{от} \quad (4)$$

При применении метода статистического прогнозирования тренда технических параметров изделий возможно сокращение продолжительности испытаний до:

$$\tau_{и} \geq K_{пр} \cdot T_{cy} \quad (5)$$

где $K_{пр} = 0,3$ коэффициент сокращения испытаний при применении метода статистического прогнозирования тренда технических параметров изделий.

Поскольку в современных стандартах отсутствуют типовые методики для метода статического прогнозирования тренда технических параметров изделий, то при планировании испытаний возможно применить общенаучные положения, согласно которым метод статистического прогнозирования основан на прогнозировании сохраняемости изделий по результатам испытаний за время 30–40 % от заданного срока сохраняемости.

Выполнение условия (1) достигается за счёт прогнозирования параметров изделий на момент времени: $\tau_0 = T_{cy}$.

При этом испытания допускается проводить в форсированных условиях, т. е. продолжительность испытаний дополнительно сократится на величину коэффициента ускорения испытаний $K_{ун}$ и составит:

$$\tau_{и} \geq 0,3 \cdot T_{cy} / K_{ун} \quad (6)$$

Основные положения методики проведения испытаний

1. Допустим, в техническом задании на разработку изделий заданы следующие показатели сохраняемости при $\gamma = 99$ %:

– $T_{cy}^{от} = 35$ лет – гамма-процентный срок сохраняемости при хранении изделий в отапливаемых хранилищах;

– $K_c = 2$ – коэффициент сокращения гамма-процентного срока сохраняемости при хранении изделий под навесом относительно хранения в отапливаемых хранилищах;

– $T_{cy}^{нав} = T_{cy}^{от} / K_c = 35 / 2 = 17,5$ лет – гамма-процентный срок сохраняемости при хранении изделий под навесом.

При применении метода статистического прогнозирования тренда технических параметров

изделий продолжительность испытаний в условиях хранения под навесом принимается равной:

$$\tau_{и}^{нав} = 0,5 \cdot T_{сy}^{нав} = 0,5 \cdot 17,5 = 8,75 \text{ лет,}$$

где 0,5 – коэффициент сокращения продолжительности испытаний, удовлетворяющий условию (5).

По формуле (2) определяется продолжительность испытаний в условиях отапливаемого хранилища как оставшееся время хранения до исчерпания ресурса:

$$\tau_{и}^{от} = 35 - 2 \cdot 8,75 = 17,5 \text{ лет,}$$

что составляет $0,5 \cdot T_{сy}^{от}$ и также соответствует условию (5).

2. Подтверждение соответствия разработанных изделий требованиям ТЗ по сохраняемости проводится методом ускоренных испытаний изделий в форсированных условиях и применения метода статистического прогнозирования тренда технических параметров изделий.

3. Объем нормальной выборки (N_0) определяется при значении доверительной вероятности: $P^* = 0,6$ по формуле [2]:

$$N_0 = \left\lceil \frac{\ln(1 - P^*)}{\ln(\gamma/100)} \right\rceil. \quad (7)$$

На испытания ставится сокращённая выборка изделий (N). Объем сокращенной выборки испытуемых изделий составляет $N = 10$ шт., что является достаточным исходя из предположения о близком к нормальному распределению наблюдаемых величин ПКГ изделий, полученных при замерах в процессе испытаний в соответствии с [3].

Компенсация сокращённого объема выборки осуществляется путём расчёта вероятности безотказного хранения изделий на моменты времени $T_{сy}^{от}$ и $T_{сy}^{нав}$ методом статистического прогнозирования тренда технических параметров на основе данных, полученных при замерах ПКГ во время проведения испытаний с учётом значения доверительной вероятности $P^* = 0,6$.

4. Испытания проводятся на одной выборке в следующей последовательности:

- имитация процесса хранения изделий в условиях отапливаемых хранилищ с ускорением процесса старения изделий под воздействием форсированной температуры и влажности;

- имитация процесса хранения изделий под навесом при ускорении процесса старения изделий под воздействием форсированной температуры и влажности (на 1-м этапе) с последующей имитацией суточных перепадов температуры путём воздействия циклических температурных нагрузок, следующих друг за другом (на 2-м этапе).

В конце испытаний на сохраняемость, после исчерпания «условного» ресурса изделий по хранению согласно (3), проводятся кратковременные испытания изделий на безотказность в объёме, заданном в нормативных документах для группы С.

5. Испытания на сохраняемость выполняются годовыми циклами. Перед испытаниями проводятся замеры ПКГ в нормальных климатических условиях. Замерам подлежат все ПКГ, заданные в техническом задании или в других нормативных документах.

6. Продолжительность проведения испытаний, имитирующих процессы тепло-влажностного старения изделий в отапливаемом хранилище в течение одного года, возможно определить двумя способами.

6. 1. При первом способе продолжительность проведения испытаний вычисляется по формуле:

$$t_{и} = \frac{8766}{K_y \cdot K_{вл}}, \quad (8)$$

где: 8766 – количество часов в годовом цикле с учётом високосных лет;

K_y – коэффициент ускорения испытаний при форсировании температурой;

$K_{вл}$ – коэффициент ускорения испытаний при форсировании влажностью.

При определении уровня форсированных воздействующих факторов среды (значений форсированной температуры и относительной влажности) необходимо выполнять правило, приведённое в п. 9.4 [4]:

$$K_y \cdot K_{вл} \leq 400t_{и} = \frac{8766}{K_y \cdot K_{вл}} \quad (9)$$

для обеспечения сохранения превалирующих механизмов отказов при форсировании испытаний и обеспечения достоверности результатов ускоренных испытаний.

Коэффициент ускорения испытаний при форсировании температурой рассчитывается на основе модели Аррениуса по формуле:

$$K_y = e^{B_n \left(\frac{1}{273,15 + \theta_{xp}} - \frac{1}{273,15 + \theta_{\phi}} \right)}, \quad (10)$$

где: B_n – энергетический параметр, К;

θ_{xp} – верхнее значение температуры хранения для отапливаемых хранилищ, равное 40 °С в соответствии с п. 10.1 [5];

θ_{ϕ} – значение повышенной температуры в форсированных условиях испытаний.

Значение энергетического параметра определяется экспериментально или из нормативных и справочных источников (в частности из [6]).

Коэффициент ускорения испытаний по влажности $K_{вл}$ рассчитывается по формуле:

$$K_{вл} = \frac{\varphi_{и}}{\varphi_{xp}}, \quad (11)$$

где: θ_{ϕ} – относительная влажность при испытаниях, %;

θ_{xp} – относительная влажность при хранении в отапливаемых хранилищах, % (принимается равной 60 % в соответствии с пп. 3.6 и 10.1 [5]).

Для герметичных изделий, если механизмы отказов не связаны с корпусом или внешними выводами изделий, коэффициент ускорения испытаний по влажности принимается равным $K_{вл} = 1$, влажность при испытаниях устанавливается в соответствии с условиями хранения.

6. 2. При применении второго способа используется методический аппарат и справочные данные из [6, 7 и 5].

Продолжительность проведения ускоренных испытаний для имитации процессов тепло-влажностного старения для одного года хранения изделий рассчитывается по формуле:

$$t_{тв.от} = \sum_{j=1}^M \frac{t_{xpj}}{K_{y_j} \cdot K_{вл}} K_{вл} = \frac{\varphi_{и}}{\varphi_{xp}}, \quad (12)$$

где: $j = 1 \dots M$ – номер (j) и количество (M) временных интервалов температур в климатическом районе;

θ_{xpj} – среднее ежегодное время воздействия j -того интервала температур;

K_{y_j} – коэффициент ускорения испытаний для j -того интервала температур, вычисляемый по формуле:

$$K_{yj} = e^{B_{\theta} \left(\frac{1}{273,15 + \theta_{xpj}} - \frac{1}{273,15 + \theta_{\phi}} \right)} t_{\text{тв.от}} = \sum_{j=1}^M \frac{t_{\text{xpj}}}{K_{yj} \cdot K_{\text{вл}}} K_{\text{вл}} = \frac{\Phi_{\text{и}}}{\Phi_{\text{xp}}}, \quad (13)$$

где: θ_{xpj} – верхнее значение температуры j-того интервала температур, °С;

θ_{ϕ} – значение температуры в форсированных условиях испытаний, °С;

$K_{\text{вл}}$ – рассчитывается по формуле (10).

Значения t_{xpj} и θ_{xpj} приведены в табл. 1, которая в данном примере составлена для худшего случая хранения изделий по температуре – в очень жарком сухом климатическом районе (ОЖСР) на основе табл. В2 [7]. В табл. 1 также заносятся результаты выполнения расчётов K_{yj} , $t_{\text{xpj}}/(K_{yj} \cdot K_{\text{вл}})$ и времени проведения ускоренных испытаний на тепловое старение $t_{\text{(тв.от)}}$.

Для герметичных изделий, если механизмы отказов не связаны с корпусом или внешними выводами изделий, коэффициент ускорения испытаний по влажности принимается равным $K_{\text{вл}} = 1$, влажность при испытаниях устанавливается в соответствии с условиями хранения.

6. 3. Продолжительность испытаний, рассчитанная по пп. 6.1 или 6.2, умножается на коэффициент $K_{\text{тп}}$.

7. Имитация процессов одного года старения изделий при хранении под навесом проводится в два этапа:

– первый этап имитирует процесс тепло-влажностного старения изделий в различных климатических районах путём воздействия повышенной температуры и влажности;

Таблица 1

Результаты расчётов на тепло-влажностное старение в отапливаемом хранилище

j	θ_{xpj} , °С	t_{xpj} , час	K_{yj}	$t_{\text{xpj}} / (K_{yj} \cdot K_{\text{вл}})$, час	$t_{\text{(тв.от)}}$, час
1	5	899			Результат расчётов по формуле (11)
2	10	1402			
3	15	1135			
4	20	1243			
5	25	778			
6	30	1205			
7	35	1581			
8	40	523			

– второй этап имитирует наличие суточных перепадов температуры с учётом климатического района и времени года путём воздействия циклических температурных нагрузок, следующих друг за другом.

Продолжительность испытаний на первом этапе возможно определить двумя способами.

7. 1. Первый способ аналогичен изложенному в п. 6.1 при значении $\theta_{\text{xp}} = 60$ °С в соответствии с п. 10.1 [5] для навесов, расположенных в любых макроклиматических районах, в т. ч. в районах с тропическим климатом в атмосфере любых типов, перекрывающим все возможные климатические районы хранения под навесами.

7. 2. При применении второго способа используется методический аппарат и справочные данные из [6 и 5].

Продолжительность проведения испытаний на первом этапе вычисляется по формуле:

$$t_1 = t_{\text{тв.нав}} - t_{\text{экв}}, \quad (14)$$

где: $t_{\text{(тв.нав)}}$ – продолжительность ускоренных испытаний на тепловое старение, час;

$t_{\text{экв}}$ – время, эквивалентное суммарному времени воздействия положительных температурных нагрузок на втором этапе испытаний.

Продолжительность ускоренных испытаний на тепловое старение $t_{\text{(тв.нав)}}$ рассчитывается по формуле (6) с заменой $t_{\text{(тв.от)}}$ на $t_{\text{(тв.нав)}}$ для значений t_{xpj} и θ_{xpj} , приведённых в табл. 2, которая составлена для худшего случая хранения изделий по температуре – в очень жарком сухом климатическом районе (ОЖСР) на основе

табл. 1 [6]. В табл. 2 для удобства также заносятся результаты выполнения расчётов K_{yj} ; $t_{\text{xpj}} / (K_{yj} \cdot K_{\text{вл}})$; $t_{\text{(тв.нав)}}$ и t_1 .

Коэффициент ускорения испытаний по влажности $K_{\text{вл}}$ рассчитывается аналогично как для условий хранения в отапливаемом хранилище (относительная влажность при естественном хранении под навесами принимается равной 80 % в соответствии с пп. 3.6 и 10.1 [5]).

При расчётах необходимо применить правило (9).

Для герметичных изделий, если механизмы отказов не связаны с корпусом или внешними выводами изделий, коэффициент ускорения испытаний по влажности принимается равным $K_{\text{вл}} = 1$, влажность при испытаниях устанавливается в соответствии с условиями хранения.

7. 3. Количество термоциклов на втором этапе испытаний рассчитывается по формуле:

$$N_{\text{ц}} = \left[\frac{N_0}{2K_{\text{ц}}} \right], \quad (15)$$

где: N_0 – число переходов температуры через нулевое значение в течение одного года (берётся худший случай для холодного климатического района -89,6 переходов температуры через нулевое значение);

$K_{\text{ц}}$ – коэффициент, показывающий, во сколько раз сокращается количество термоциклов при ускоренных испытаниях, определяемый по формуле:

$$K_{\text{ц}} = \left(\frac{\Delta\theta_{\phi}}{\Delta\theta_{\text{xp}}} \right)^{1,58}, \quad (16)$$

Результаты расчётов на тепло-влажностное старение под навесом

j	$\theta_{xprj}, ^\circ\text{C}$	$t_{xprj}, \text{час}$	K_{y_j}	$t_{xprj} / (K_{y_j} \cdot K_{вл.}), \text{час}$	$t_{тв. нав.}, \text{час}$	$t_1, \text{час}$
1	-20	3			Результат расчётов по формуле (11) для навесов	Результат расчётов по формуле (13)
2	-15	29				
3	-10	139				
4	-5	491				
5	0	1069				
6	5	1203				
7	10	1068				
8	15	1014				
9	20	1195				

где: 1,58 – константа ускорения, рассчитанная из соотношения $\lg 3/\lg 2$;

$\Delta\theta_{xp}$ – максимальное значение амплитуды температур при хранении в целом по всем климатическим районам, равное 30°C ;

$\Delta\theta_{\phi}$ – перепад температур в термоцикле с переходом через 0°C при испытаниях, определяемый по формуле:

$$\Delta\theta_{\phi} = \theta_{\text{макс}} - \theta_{\text{мин}}, \quad (17)$$

где $\theta_{\text{макс}}$ и $\theta_{\text{мин}}$ – максимальная и минимальная температура в термоцикле, представленном на рис. 1.

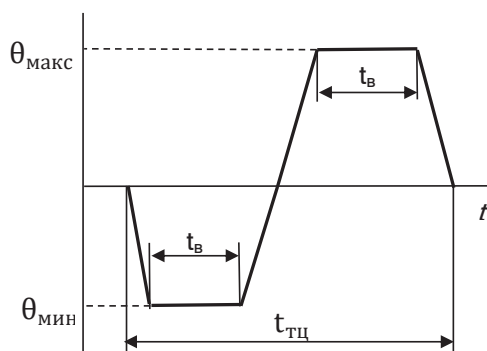


Рис. 1. Параметры термоцикла

Термоциклирование выполняется методом 205–2 [8]. Значение времени воздействия пониженной и повышенной температур $t_в$ и длительности термоцикла $t_{тц}$ выбираются из расчёта достижения температурного равновесия по всему объёму изделия до начала интервала $t_в$.

При одинаковых значениях температур θ_{ϕ} и $\theta_{\text{макс}}$, а также относительной влажности воздуха на 1-м и 2-м этапах испытаний под навесом значение $t_{\text{экв}}$ рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{экв}} = N_{\text{ц}} \cdot t_в \cdot \quad (18)$$

При разных значениях температур θ_{ϕ} и $\theta_{\text{макс}}$, а также относительной влажности воздуха на 1-м и 2-м этапах испытаний под навесом значение $t_{\text{экв}}$ рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{экв}} = \frac{N_{\text{ц}} \cdot t_в}{K_{xp2} \cdot K_{вл2}} \cdot \quad (19)$$

где: K_{xp2} – коэффициент пересчёта, рассчитываемый по формуле (12) при $\theta_{xprj} = \theta_{\text{макс}}$ и θ_{ϕ} , равной форсированной температуре на 2-м этапе испытаний под навесом, а $K_{вл2}$ рассчитывается по формуле (10) при $\phi_{\text{н}}$, равной относительной влажности при испытаниях на 1-м этапе, и ϕ_{xp} , равной относительной влажности при испытаниях на 2-м этапе.

В итоге рассчитывается значение t_1 по формуле (13).

7. 4. Продолжительность испытаний, рассчитанная по пп. 7.1 или 7.2, а также количество термоциклов, рассчитанное по п. 7.3, умножаются на коэффициент $K_{пр}$.

Обработка и оценка результатов испытаний

По результатам замеров ПКГ до, в процессе и после испытаний выполняются следующие расчёты.

При прогнозировании срока сохраняемости в условиях отапливаемого хранилища за точку начала прогнозирования принимаются результаты измерений ПКГ изделий перед проведением испытаний. При этом фиксируется температура $t_{\text{изм}}$ и влажность $\phi_{\text{изм}}$, при которых проводятся измерения, и последующие замеры проводятся при $t_{\text{изм}} \pm 1^\circ\text{C}$ и $\phi_{\text{изм}} \pm 5\%$.

Для прогнозирования срока сохраняемости изделий при хранении под навесом за точку начала прогнозирования принимаются результаты измерений ПКГ после проведения последнего n-го цикла испытаний в режиме отапливаемого хранилища. При этом, при необходимости, выполняется корректировка начального и каждого последующего значения ПКГ (y) на Δy :

$$y = y + \Delta y \quad , \quad (20)$$

$$\Delta y = y_{\text{нач}} - y_{\text{от}} \quad , \quad (21)$$

где: $y_{\text{нач}}$ – начальное значение ПКГ данного образца;
 $y_{\text{от}}$ – значение ПКГ данного образца при замерах после проведения последнего цикла испытаний в режиме отапливаемого хранилища.

Расчёты выполняются с использованием методического аппарата и справочных данных из [3] (табл. 6.2; 7.1; Б.1; В.1) с учётом значения доверительной вероятности $\beta = 0,6$.

Расчёты выполняются после проведения испытаний отдельно для каждого из k ПКГ Y , заданных в ТЗ с полученными в ходе испытаний значениями $y_i(\tau_j)$ по результатам замеров ПКГ в каждой j из l точек контроля по каждому i из n образцов по формулам (21...34).

Результаты расчётов по всем ПКГ обрабатываются по формуле (35).

Значения моментов времени контроля τ_j корректируют путём их умножения на коэффициент ускорения испытаний K_y , установленный для этапа (вида) испытаний в той точке контроля.

Рассчитываются математическое ожидание m_0 , дисперсия D_0 и среднеквадратическое отклонение σ_0 в начальной точке контроля $j = 0$:

$$m_0 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i(\tau_0); \quad (22)$$

$$D_0 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i(\tau_0) - m_0)^2; \quad (23)$$

$$\sigma_0 = \sqrt{D_0}. \quad (24)$$

По каждому образцу изделий определяются коэффициенты линейной функции, аппроксимирующей изменение во времени параметров в процессе испытаний:

$$y_i(\tau) = a_i + v_i \cdot \tau. \quad (25)$$

Коэффициенты a_i и v_i определяют методом наименьших квадратов из системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} a_i \cdot l + v_i \cdot \sum_{j=1}^l \tau_j &= \sum_{j=1}^l y_i(\tau_j) \\ a_i \cdot \sum_{j=1}^l \tau_j + v_i \cdot \sum_{j=1}^l \tau_j^2 &= \sum_{j=1}^l (\tau_j \cdot y_i(\tau_j)) \end{aligned} \right\}. \quad (26)$$

Скорость изменения параметра характеризуется коэффициентом наклона линейной функции v .

Для каждого ПКГ вычисляют математическое ожидание скорости изменения параметра m_v , дисперсию скорости D_v и среднеквадратическое отклонение скорости σ_v :

$$m_v = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n v_i; \quad (27)$$

$$D_v = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (v_i - m_v)^2; \quad (28)$$

$$\sigma_v = \sqrt{D_v}. \quad (29)$$

При заданной доверительной вероятности β определяют односторонние верхнюю $v_{\text{верх}}$ и нижнюю $v_{\text{нижн}}$ границы доверительного интервала математического ожидания скорости изменения параметров по формулам:

$$v_{\text{верх}} = m_v + t_\beta \cdot \frac{\sigma_v}{\sqrt{n}}; \quad (30)$$

$$v_{\text{нижн}} = m_v - t_\beta \cdot \frac{\sigma_v}{\sqrt{n}}. \quad (31)$$

где t_β – квантиль распределения Стьюдента с $(n-1)$ степенями свободы, отвечающей доверительной вероятности β .

В качестве скорости изменения параметров v принимают их верхние или нижние односторонние доверительные границы по следующим правилам:

- а) для одностороннего ограничения на ПКГ:
 - если $v_{\text{верх}}$ имеет положительный знак, а параметр ограничен допуском снизу или наоборот, $v_{\text{нижн}}$ имеет отрицательный знак, а параметр ограничен допуском сверху, то данный ПКГ далее не рассматривается;
 - если параметр-критерий годности ограничен допуском сверху, тогда расчёты продолжают при $v_{\text{верх}}$;
 - если параметр-критерий годности ограничен допуском снизу, тогда расчёты продолжают при $v_{\text{нижн}}$;
- б) для двухстороннего ограничения на ПКГ:
 - если $v_{\text{верх}}$ и $v_{\text{нижн}}$ имеют положительный знак, а параметр ограничен допуском снизу или наоборот, $v_{\text{верх}}$ и $v_{\text{нижн}}$ имеют отрицательный знак, а параметр ограничен допуском сверху, то данный ПКГ далее не рассматривается;
 - если $v_{\text{верх}}$ и $v_{\text{нижн}}$ имеют один знак, то при расчётах берут максимальное абсолютное значение скорости, при положительном знаке скорости расчёты продолжают только для верхнего допуска на ПКГ, при отрицательном знаке скорости расчёты продолжают только для нижнего допуска на ПКГ;
 - если $v_{\text{верх}}$ и $v_{\text{нижн}}$ имеют противоположные знаки, то расчёты продолжают как для верхнего допуска на ПКГ, так и для нижнего допуска на ПКГ, при этом в дальнейшем из двух значений берут значение, приводящее к меньшему значению вероятности P , рассчитываемой по формуле (14).

Вычисляют математическое ожидание m_Y и среднеквадратическое отклонение σ_Y наработки по каждому из ПКГ:

$$m_Y = \frac{|y_{\text{ТЗ}} - m_0|}{|v|}, \quad (32)$$

$$\sigma_Y = \frac{\sigma_0}{|v|}, \quad (33)$$

где: $y_{\text{ТЗ}}$ – норма ТЗ на ПКГ.

Законом распределения является нормальный закон с математическим ожиданием и дисперсией, определенными для испытываемого изделия:

$$F(t) = \Phi(m_Y; \sigma_Y). \quad (34)$$

По каждому ПКГ в пределах гамма-процентной наработки до отказа T_Y вычисляют вероятность P по формуле:

$$P = 1 - F(T_Y) = 1 - \int_0^{T_Y} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_Y} \cdot e^{-\frac{(t-m_Y)^2}{2\sigma_Y^2}} dt. \quad (35)$$

Определяем минимальное значение $P^{\text{мин}}$ из рассчитанных P для каждого из k ПКГ Y :

$$P^{\text{мин}} = 100 \cdot \min_{Y_{1...k}} P. \quad (36)$$

Результаты испытаний считаются положительными, если результаты испытаний на сохраняемость считаются положительными, если:

- в выборке не произошло ни одного отказа;
- внешний вид изделий соответствует установленным требованиям;
- результаты кратковременных испытаний на безотказность признаны положительными;
- выполняются условия $P^{\text{мин}} \geq \gamma$, заданной в ТЗ,

для условий хранения изделий в отапливаемых хранилищах и под навесами.

Заключение

Предлагаемый метод проведения ускоренных испытаний на сохраняемость позволяет существенно сократить стоимость и сроки проведения испытаний на этапе ОКР и при типовых испытаниях, при этом полностью выполнить требования стандартов по объёму и порядку проведения испытаний, а также обеспечить достоверность их результатов за счет:

– сокращения объёма выборки при достоверном подтверждении показателей сохраняемости с заданной высокой вероятностью γ за счёт дополнительной статистической обработки результатов испытаний;

– дополнительного двукратного сокращения объёма выборки за счёт проведения испытаний для условий хранения в отапливаемых хранилищах и под навесом на одной выборке;

– выработки ресурса изделий по хранению за счёт оптимизации продолжительности испытаний на сохраняемость общей выборки для обеспечения выполнения требований нормативных документов по обязательному проведению кратковременных испытаний на безотказность в конце испытаний на сохраняемость продолжительностью T_{cy} ;

– сохранения превалирующих механизмов отказов за счёт выбора сбалансированных значений уровня форсированных факторов среды.

Литература

1. ГОСТ Р 27.102–2021 Надёжность в технике. Надёжность объекта. Термины и определения.
2. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Москва, Высшая школа, 1999.
3. ГОСТ Р 50779.21–2004 Статистические методы. Правила определения и методы расчёта статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение.
4. ГОСТ Р 51372–99 Методы ускоренных испытаний на долговечность и сохраняемость при воздействии агрессивных и других специальных сред для технических изделий, материалов и систем материалов.
5. ГОСТ 15150–69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.
6. ОСТ В 4Г 0.012.241–84 Аппаратура радиоэлектронная. Методы расчёта показателей надёжности в режимах хранения и ожидания и определения продолжительности испытаний, имитирующих длительное хранение.
7. РД В 319.01.15–98 Типовые методики ускоренных испытаний на сохраняемость при хранении и испытаний на сохраняемость при транспортировании.
8. ГОСТ РВ 0020–57.416–2020 Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Методы испытаний.

УДК 006.86

ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

PROBLEMS OF DETERMINING MEASUREMENT ACCURACY INDICATORS IN THE DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC COMPONENT DATABASE AND WAYS TO SOLVE THEM

Быканов В. В., К. Т. Н., С. Н. С., **Есакова М. М.**, Тупицина А. В., Кремнева А. В.

ФГБУ «ВНИИР»; +7 (903) 774–25–07; sertifbv@yandex.ru; **Душкин Ю. В.**, **Журиков Р. Н.**

Bykanov V. V., Ph. D. of engineering sciences, Senior Researcher Officer, **Esakova M. M.**, **Tupitsina A. V.**, **Kremneva A. V.**
FSBI «VNIIR»; **Dushkin Yu. V.**, **Zhurikov R. N.**

Аннотация. В настоящее время метрологи и разработчики изделий ЭКБ сталкиваются с неоднозначностью в вопросах определения показателей точности измерений в технической документации. В статье проведён анализ состояния проблемы и рассмотрены наиболее практичные варианты оценивания показателей точности измерений параметров разрабатываемых изделий ЭКБ.

Annotation. Currently, metrologists and developers of electronic component base products are faced with ambiguity in determining measurement accuracy indicators in technical documentation. The article analyzes the state of the problem and considers the most practical options for assessing the accuracy of measuring the parameters of the developed electronic component base products.

Ключевые слова: показатели точности измерений, погрешность измерений, техническая документация, электронная компонентная база.

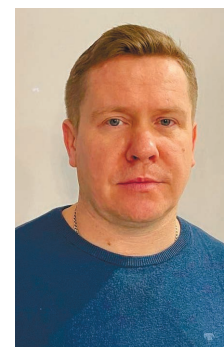
Keywords: measurement accuracy indicators, measurement error, technical documentation, electronic component base.



Слева направо: Кремнева А. В., Есакова М. М., Быканов В. В., Тулицина А. В.



Душкин Ю. В.



Журиков Р. Н.

Введение

Единство измерений – это состояние измерений, при котором их результаты выражены в допущенных к применению в Российской Федерации единицах величин, а показатели точности измерений (далее – ПТИ) не выходят за установленные границы [1]. Однако в нормативно-правовых документах не унифицировано метрологическое понятие ПТИ и установленных границ, что приводит к неверному указанию их значений для заданных параметров в техническом задании на разработку электронной компонентной базы (далее – ЭКБ), также довольно часто ПТИ в технической документации (далее – ТД) на разрабатываемые ЭКБ вовсе не упоминаются. Вследствие этого, ТД по результатам проведения метрологической экспертизы не соответствует требованиям по метрологическому обеспечению, т. к. согласно [1, 2] ПТИ должны быть заданы и, соответственно, оцениваться на этапе разработки конструкторской и технологической документации. Прояснение поставленного вопроса является актуальным сегодня.

Основная часть

В настоящий момент отечественная законодательная метрология не ввела единый термин «показатель точности измерений».

В [1] представлено определение методик (методов) измерений (далее – МИ), как совокупность конкретно описанных операций, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с установленными ПТИ.

Следовательно, МИ описывают измерительную процедуру. При этом в них должны быть установлены ПТИ. В соответствии с требованиями серии международных стандартов ИСО 9000 все процессы должны быть документированы. Поэтому измерительные процедуры, прописанные в МИ, разработанные с учётом требований [2], должны быть документально оформлены и установлены требования к ПТИ.

В п. 3.4 вышеуказанного [2] раскрыт следующий термин: «Показатель точности измерений – это установленная характеристика точности любого результата измерений, полученного при соблюдении требований и правил данной методики измерений». Однако в данном понятии не определены требования к ПТИ: не регламентирована характеристика точности и кем она устанавливается.

Расчёт ПТИ должен присутствовать в разделе «Показатели точности измерений» [2] в виде значений

ПТИ или алгоритмов (формул) их расчёта. В алгоритмах в качестве исходных данных можно использовать результаты промежуточных измерений, значения метрологических характеристик средств измерений, значения влияющих величин и значения параметров ЭКБ. Допускается вместо ПТИ приводить норму точности измерений, которая с регламентируемой вероятностью выполняет функцию ПТИ при соблюдении правил МИ.

При проверке соответствия ПТИ установленным требованиям сопоставляются заданные ПТИ с нормами точности измерений. Если нормы точности измерений не установлены, определяются другие показатели (точность испытаний, достоверность контроля и т. д.), на которые влияет погрешность измерений с анализом их приемлемости. В случае выявления несоответствия ПТИ рассматривается возможность более точного их оценивания, в частности переход от расчётных методов оценивания к расчётно-экспериментальным, или уточняются МИ для повышения точности измерений.

В [3] термин «показатель точности измерений» и его определение опять же отсутствуют. Но в примечании п. 5.1 [3] к понятию «результат измерения» указано, что результат измерений может быть представлен значением величины с указанием соответствующего ПТИ. К ним относятся, например, среднее квадратическое отклонение (далее – СКО), доверительные границы погрешности, стандартная, суммарная стандартная и расширенная неопределённости измерений. Возможно представление результата измерений плотностью распределения вероятностей на множестве возможных значений измеряемой величины.

В теоретической метрологии точность измерений оценивается рядом показателей, приведённых в табл. 1, причём часть из них выражается в концепции погрешности, а другая – в концепции неопределённости.

Из представленных ПТИ и в метрологической практике традиционно применяются следующие, представленные в табл. 2а, 2б, разделённые по видам концепций.

В свою очередь, законодательная метрология предлагает различные требования определения ПТИ, не дающие полное представление о показателях точности результатов измерений. К примеру, ПТИ, указанные в [2], представлены на рис. 1.

По [4] используются ПТИ, описанные в табл. 3.

Рассмотренные в табл. 3 ПТИ не дают полного представления о суммарной погрешности результата измерений. Взятые в отдельности меры правильности и прецизионности не могут рассматриваться в качестве

Определение показателей точности измерений в двух концепциях

	ПТИ в концепции погрешности	ПТИ в концепции неопределённости
Оценка характеристики ПТИ	Погрешность измерений	Суммарная стандартная неопределённость: $U_C = \sqrt{c_i^2 * U_A^2 + c_i^2 * U_B^2}$ U_C – суммарная стандартная неопределённость; c_i – коэффициент чувствительности; U_A – неопределённость по типу А; U_B – неопределённость по типу В
	Границы, в которых неисклѳенная систематическая погрешность, составляющая погрешности измерений, находится с заданной вероятностью. $\Theta = \pm \sum_{q=1}^n (\theta_i)^2$ Θ – граница неисклѳенной систематической погрешности	Расширенная стандартная неопределённость: $U = kU_C$ U – расширенная стандартная неопределённость; k – коэффициент охвата; U_C – суммарная стандартная неопределённость
	СКО погрешности $S(x) = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n \times (n - 1)}}$ $S(x)$ – оценка СКО результата измерения; S_x – СКО результатов измерений; n – количество измерений; x_i – результат измерения; \bar{X} – среднее значение S_x – СКО результатов измерений; n – количество измерений; x_i – результат измерения; \bar{X} – среднее значение	Стандартная неопределённость по типу В: $U_B = \sqrt{\frac{\Delta E}{\sqrt{3}}}$ U_B – неопределённость по типу В; ΔE – погрешность прибора с учётом среднего значения измерений U_B – неопределённость по типу В; ΔE – погрешность прибора с учётом среднего значения измерений
	СКО систематической составляющей погрешности измерений: $S_x = \sqrt{\frac{1}{n - 1} \times \sum_{q=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$ S_x – СКО результатов измерений; n – количество измерений; x_i – результат измерения; \bar{X} – среднее значение	Стандартная неопределённость по типу А: $U_A = \frac{S}{n \times (n - 1)}$ U_A – неопределённость по типу А; n – количество измерений; S – стандартное отклонение результатов измерения от среднего арифметического

ПТИ. Это также относится и к взятым в отдельности характеристикам случайной составляющей погрешности измерений или неисклѳенной систематической составляющей погрешности измерений, регламентированным в [5].

В качестве показателей, характеризующих точность измерений, могут быть применены только те из стандартизованных характеристик погрешности, которые учитывают составляющие как случайной, так и систематической погрешности. Метрологи в своей деятельности при выражении точности результата через количественные характеристики применяют точечные и интервальные характеристики погрешности. Поэтому из рассмотренных перечней ПТИ для количественного выражения погрешности

и неопределённости необходимо пользоваться представленными на рис. 2.

Анализируя приведѳенные факты в настоящей статье, видна острая необходимость систематизации многообразия имеющихся статистических оценок точности полученных результатов измерений, определении основных для применения и регламентации принятого решения на законодательном уровне.

Решение поднятой проблемы особенно важно при разработке изделий ЭКБ, где для выражения точности измерений используются и характеристики погрешности измерений, и характеристики неопределённости измерений.

Существующее руководство по неопределённости измерений [6] ориентировано для выполнения работы

Показатели точности измерений в концепции погрешности

Показатель	Характеристика или математическое выражение в концепции погрешности или неопределённости	Комментарий
Погрешность измерений	$\Delta = X_{\text{ри}} - X_{\text{и}}(1)$ $\Delta = X_{\text{ри}} - X_{\text{д}}(2)$	Выражение (1) имеет теоретический характер, поскольку истинное значение измеряемой величины всегда остаётся неизвестным, поэтому на практике применяется уравнение (2). В качестве модели погрешности измерений принимается модель случайной величины (или случайного процесса). Поэтому метрологи не рассматривают возможность использования выражения (2) для разработки представлений о показателях точности измерений.
Границы, в которых погрешность измерения находится с заданной вероятностью	$X_{\text{ри}} - \Delta_{\text{гр}} \leq X_{\text{д}} \leq X_{\text{ри}} + \Delta_{\text{гр}}$	Границы погрешности измерений для заданной вероятности дают полное основание судить о возможной степени близости результата измерения к действительному значению измеряемой величины
СКО погрешности	$X_{\text{ри}} - 2\sigma_{\Delta} \leq X_{\text{д}} \leq X_{\text{ри}} + 2\sigma_{\Delta}$	Знание σ_{Δ} позволяет (при определённых предположениях о виде функций распределения плотности вероятностей погрешностей) оценить интервал значений, в котором может находиться $X_{\text{д}}$
СКО случайной составляющей погрешности измерений	$\bar{S}_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{n(n-1)}}$	Знание только СКО случайной составляющей погрешности измерений в общем случае не позволяет судить о возможной степени близости результатов измерений к действительному значению измеряемой величины $X_{\text{д}}$, поскольку дополнительно к случайной составляющей погрешности измерений может иметь место систематическая составляющая
Сходимость результатов измерений	Оценивается мерами сходимости	Сходимость измерений не даёт представления о границах, в которых может находиться погрешность измерений
Воспроизводимость результатов измерений	Оценивается мерами воспроизводимости	Воспроизводимость также не даёт представления о границах, в которых может находиться погрешность измерений
СКО систематической составляющей погрешности измерения	$\bar{S}_{\text{сист}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{n(n-1)}}$	Характеристики систематической составляющей погрешности измерений не позволяют судить о границах, в которых может находиться (при заданной вероятности) суммарная погрешность измерений.
Границы, в которых не исключенная систематическая составляющая погрешности измерений находится с заданной вероятностью	$X_{\text{ри}} - 3\sigma_{(\Delta_{\text{сист}})} \leq X_{\sigma}$ $\leq X_{\text{ри}}$ $+3\sigma_{(\Delta_{\text{сист}})}$	Причины этого – неучёт роли случайной составляющей погрешности измерений
Прецизионность измерений	Характеризует степень близости между независимыми результатами измерений, полученными при определённых принятых условиях	Стандартное отклонение прецизионности не позволяет судить о степени возможной близости результатов измерений к действительному значению измеряемой величины $X_{\text{д}}$

Показатели точности измерений в концепции неопределённости

Показатель	Характеристика или математическое выражение в концепции погрешности или неопределённости	Комментарий
Стандартная неопределённость измерений по типу А	$U_A(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i - (X)^2}{n(n-1)}}$	Стандартные неопределённости по типу А и Б не позволяют судить в общем случае о степени близости результатов измерений к их математическому ожиданию (т. е. к наиболее вероятному значению)
Стандартная неопределённость измерений по типу Б	$U(x) = \frac{a}{\sqrt{6}}$	
Суммарная стандартная неопределённость измерений	$U_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 * U^2(X_i)}$	Знание суммарной стандартной неопределённости измерений позволяет судить о возможном рассеянии результатов измерений относительно их математического ожидания
Расширенная неопределённость измерений	$U(p) = K_0 \sqrt{U_A^2 + U_B^2}$	Характеристика может быть определена через доверительную вероятность или уровень доверия

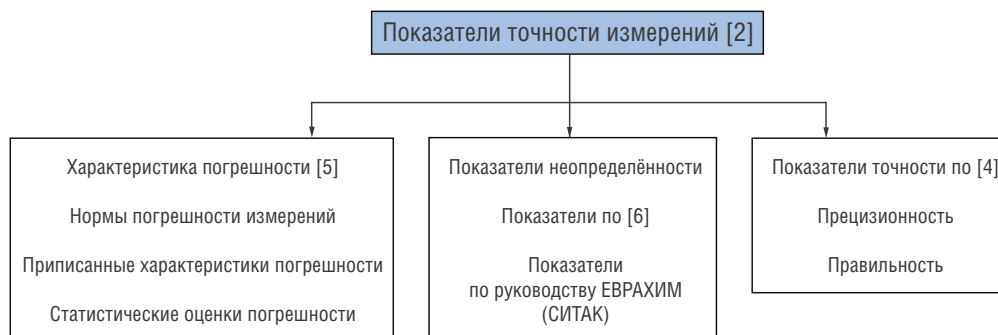


Рис. 1. Показатели точности измерений методики, регламентируемые [2]

на высших уровнях поверочных схем (разработка, модернизация первичных эталонов, их аттестация, сличение с национальными эталонами других стран, системы единиц, общая теория измерений), т. е. ориентировано на апостериорную оценку качества измерений.

В производственной же деятельности по разработке ЭКБ преобладает априорная оценка качества измерений. Так в [2] подчёркивается, что данный документ не распространяется на МИ, характеристики погрешности измерений которых определяются в процессе или после их применения, и основным способом оценивания качества измерений в производстве является разработка МИ и их аттестация до того, как измерения состоялись. Следует отметить, что при разработке ЭКБ на основе измерений выполняются и более сложные процедуры: допусковый контроль, испытания, диагностирование, управление, регулирование и т. п., – к которым концепция неопределённости не адаптирована. Учитывая сложность специфики

применения изделий ЭКБ (оборонная, космическая, ядерная промышленность и т. д.), назрела необходимость законодательно обосновать требования к ПТИ в технической документации разрабатываемых ЭКБ с целью возможности оценки их величины через концепцию погрешности.

Заключение

Таким образом, выпуск качественной ЭКБ основывается на точности результатов проводимых измерений при разработке изделий.

Для улучшения качества разрабатываемой ЭКБ радиоэлектронная промышленность должна опираться на единый нормативный документ в части метрологического обеспечения «Руководящий документ. ЭКБ. Общие требования по метрологическому обеспечению в процессе разработки и производства», в котором будут определены ПТИ, формы их выражения в ТД при разработке ЭКБ.

Это позволит на стадии разработки ЭКБ осуществлять оценку обоснованности назначения показателей

Показатели точности измерений, регламентируемые в [4]

Показатели точности	
Прецизионность	Правильность
В виде СКО в условиях повторяемости	Систематические погрешности методики выполнения измерений
В виде СКО в условиях промежуточной прецизионности	Систематические погрешности лаборатории
В виде СКО в условиях воспроизводимости	Систематические погрешности лабораторной составляющей

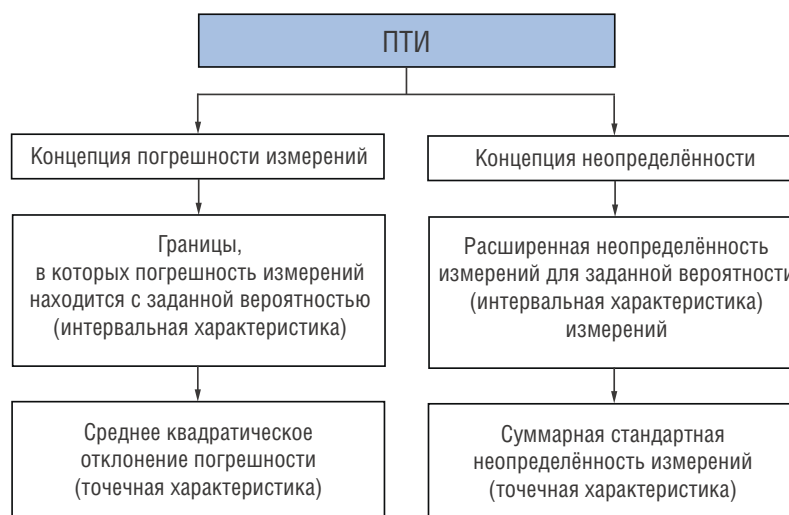


Рис. 2. Показатели точности измерений, дающие полное представление о погрешности и неопределённости результатов измерений

точности измерений и достоверности контроля параметров при проведении метрологической экспертизы ТД, в частности проектов ТУ, и программ и методик предварительных испытаний.

Литература

1. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 № 102-ФЗ.
2. ГОСТ Р 8.563–2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений.
3. РМГ 29–2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения.

4. ГОСТ Р ИСО 5725–1–2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения.

5. МИ 1317–2004 Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров.

6. ГОСТ 34100.1–2017 Неопределённость измерения. Часть 1. Руководство по выражению неопределённости измерения.

УДК 658.56

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОДУКЦИИ

ABOUT THE FEATURES OF TECHNICAL REGULATION OF ELECTRONIC PRODUCTS IN THE RADIO-ELECTRONIC INDUSTRY

Невмывака А. Н., Подъяпольский С. Б., к. т. н., Булгаков О. Ю., к. воен. н.,
Лепешкин А. В., Осипова Е. М. ФГБУ «ВНИИР»; +7 (919)766–31–26; saharov@vniir-m.ru
Nevmyvaka A. N., Podypolsky S. B., Candidate of Technical Sciences, S. N. S., Bulgakov O. Yu., Ph. D. of military sciences,
Lepeshkin A. V., Osipova E. M. FSBI «VNIIR»

Аннотация. В данной статье анализируется действующая нормативно-правовая база в области подтверждения соответствия, требования и положения в части задания направлений подтверждения соответствия электронной

продукции, особенности технического регулирования в Российской Федерации электронной продукции гражданского назначения, а также формулируется научная задача порядка формирования требований по техническому регулированию электронной продукции.

Annotation. This article analyzes the current regulatory and legal framework in the field of conformity assessment, requirements and regulations regarding the assignment of directions for conformity assessment of electronic products, features of technical regulation in the Russian Federation of electronic products for civil purposes, and also formulates the scientific task of the procedure for the formation of requirements for technical regulation of electronic products.

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.

Введение

Области применения электронной продукции очень разнообразны и широко применяются в военной сфере, космической отрасли, мореплавании и речной навигации, сфере авиации, транспортной сфере, на любом производстве, в быту, жилищно-коммунальном хозяйстве и т. д.

Понимая это, можем констатировать, что в конечном счёте потребителями электронной продукции являются все без исключения люди на планете, что обязывает установить и обеспечить необходимые требования безопасности электронной продукции на государственном, а иногда и межгосударственном уровне.

Целью данной статьи является рассмотрение системы технического регулирования применительно к электронной продукции в РФ.

Основная часть

Под электронной продукцией в данной статье мы будем понимать электронное оборудование, модули, компоненты и встраиваемое программное обеспечение (в т. ч. и радиоэлектроника).

В соответствии с определением, установленным Федеральным законом «О техническом регулировании» от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ [1]:

– техническое регулирование – правовое регулирование отношений в области установления, применения и исполнения обязательных требований к продукции или к процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, распространения и утилизации, а также в области применения на добровольной основе требований к продукции, процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, распространения и утилизации, выполнению работ или оказанию услуг и правовое регулирование отношений в области оценки соответствия;

– оценка соответствия – прямое или косвенное определение соблюдения требований, предъявляемых к объекту.

Проведённые обобщения и анализ существующей нормативно-правовой базы позволяют выделить следующие формы оценки соответствия (рис. 1):

– обязательное подтверждение соответствия продукции (в форме сертификации и декларирования)



Слева направо: Подъяпольский С. Б., Осипова Е. М., Лепешкин А. В., Булгаков О. Ю., Невмывака А. Н.

в рамках Евразийского экономического союза (далее – ЕАЭС);

– обязательное подтверждение соответствия продукции исключительно на территории РФ;

– добровольная сертификация продукции, производства и распространения продукции, работ, услуг на территории РФ;

– категорирование.

В общем случае обязательное подтверждение соответствия проводится только в случаях, установленных соответствующим техническим регламентом и исключительно на соответствие требованиям технического регламента. Объектом обязательного подтверждения соответствия может быть только продукция, выпускаемая в обращение на территории Российской Федерации. Форма и схемы обязательного подтверждения соответствия могут устанавливаться только техническим регламентом с учётом степени риска не достижения целей технических регламентов. Подтверждение соответствия продукции проводится в форме сертификации либо в форме декларирования соответствия. Декларация о соответствии и сертификат соответствия имеют равную юридическую силу и действуют на всей территории Российской Федерации в отношении каждой единицы продукции, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации во время действия декларации о соответствии или сертификата соответствия, в течение срока годности или срока службы продукции, установленных в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Рассмотрим особенности процедур для каждого вида оценки соответствия.

Обязательное подтверждение соответствия продукции в рамках ЕАЭС. Техническое регулирование в рамках ЕАЭС осуществляется на основании установления единых обязательных требований, содержащихся в технических регламентах (далее – ТР) Союза, или, в случае отсутствия ТР ЕАЭС, в национальных законодательствах государств-членов Союза к продукции, включённой в единый перечень продукции, в отношении которой устанавливаются обязательные требования в рамках Союза.

Важными принципами технического регулирования в ЕАЭС являются (из п. 1 ст. 51 Договора о Евразийском экономическом союзе) [2]:

- единство правил и процедур проведения обязательной оценки соответствия;
- гармонизация межгосударственных стандартов с международными и региональными стандартами;
- добровольность применения стандартов;
- обеспечение гармонизации законодательства государств-членов в части установления ответственности за нарушение обязательных требований к продукции, правил и процедур проведения обязательной оценки соответствия.



Рис. 1. Формы оценки соответствия

Для объектов технического регулирования, в отношении которых не вступили в силу технические регламенты Союза, действуют нормы законодательства государств-членов. В частности, для РФ – это ТР Российской Федерации и Постановление Правительства Российской Федерации от 23.12.2021 г. № 2425 «Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подлежащей декларированию соответствия, внесении изменений в Постановление Правительства Российской Федерации от 31.12.2020 г. № 2467 и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации» [3] для продукции, не включённой ни в один ТР ЕАЭС и ТР Российской Федерации.

Обязательное подтверждение соответствия проводится в форме сертификации, декларирования. Конкретная форма подтверждения соответствия той или иной продукции устанавливается техническим регламентом, в область применения которого она попадает.

Сертификации и декларированию соответствия подлежит продукция, включённая в перечни конкретных технических регламентов ЕАЭС.

Большая часть электронной продукции регулируется техническими регламентами Евразийского экономического союза (ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования», ТР ТС 020/2011

«Электромагнитная совместимость технических средств», ТР ЕАЭС 037/2016 «Об ограничении применения опасных веществ в изделиях электротехники и радиоэлектроники»).

Продукция, прошедшая обязательное подтверждение соответствия всем ТР ЕАЭС, в область применения, которых она попадает, маркируется знаком обращения на рынке (рис. 2).

Обязательное подтверждение соответствия продукции на территории РФ проводится в отношении продукции, не подпадающей под действие ТР ЕАЭС и решения КТС № 620 от 07.04.2011 г. «О Едином перечне продукции, подлежащей обязательному подтверждению соответствия с выдачей сертификатов соответствия и деклараций о соответствии по единой форме» [4].

Требования к продукции устанавливаются в ТР РФ, в область применения которого она подпадает, либо в Постановлении Правительства Российской Федерации от 23.12.2021 г. № 2425 [3], если для продукции отсутствует свой технический регламент.

На данный момент, в рамках обязательного подтверждения соответствия на территории РФ подлежит электронная продукция, применяемая:

- в средствах связи (Федеральный закон «О связи» от 07.07.2003 № 126-ФЗ);
- в авиации;
- на транспорте;
- на объектах морского транспорта.



Рис. 2. Знак обращения на рынке

Добровольная сертификация продукции, работ, услуг на территории РФ осуществляется по инициативе заявителя на условиях договора между заявителем и органом по сертификации для установления соответствия национальным стандартам, стандартам организаций, системам добровольной сертификации, условиям договоров.

Объектами добровольной сертификации могут быть продукция, процессы производства, хранения, распространения, перевозки, эксплуатации и утилизации, работы и услуги, а также иные объекты, в отношении которых стандартами, системами добровольной сертификации и договорами устанавливаются требования.

Добровольная сертификация осуществляется в рамках системы добровольной сертификации, зарегистрированной в Росстандарте в соответствии с требованиями ФЗ «О техническом регулировании» от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ [1].

Системы добровольной сертификации (далее – СДС) могут, в частности, осуществлять сертификацию производства и распространения продукции, проводимую по средствам сертификации систем менеджмента качества по стандарту ГОСТ Р ИСО 9001–2015 «Системы менеджмента качества. Требования» [5], а также с учётом особенностей, установленных для отдельных видов продукции и производств, установленных в системе.

Сертификат соответствия данному стандарту свидетельствует о способности организации осуществлять производство продукции необходимого качества в управляемых условиях и удовлетворять требования потребителей, а также учитывать потребности других заинтересованных сторон.

Категорирование объектов критической информационной инфраструктуры. Ещё одной сферой применения изделий ЭКБ и РЭА являются объекты критической информационной инфраструктуры.

Данная сфера входит в область применения Федерального закона от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» [6].

В соответствии с определениями, установленными данным ФЗ:

– «объекты критической информационной инфраструктуры – информационные системы, информационно-телекоммуникационные сети, автоматизированные системы управления субъектов критической информационной инфраструктуры»;

– «субъекты критической информационной инфраструктуры – государственные органы, государственные учреждения, российские юридические лица и (или) индивидуальные предприниматели, которым на праве собственности, аренды или на ином законном основании принадлежат информационные

системы, информационно-телекоммуникационные сети, автоматизированные системы управления, функционирующие в сфере здравоохранения, науки, транспорта, связи, энергетики, банковской сфере и иных сферах финансового рынка, топливно-энергетического комплекса, в области атомной энергии, оборонной, ракетно-космической, горнодобывающей, металлургической и химической промышленности, российские юридические лица и (или) индивидуальные предприниматели, которые обеспечивают взаимодействие указанных систем или сетей».

Правила категорирования объектов критической информационной инфраструктуры и критерии их значимости устанавливаются Постановлением Правительства РФ от 08.02.2018 № 127 «Об утверждении правил категорирования объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, а также перечня показателей критериев значимости объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и их значений» [7].

Субъекты критической информационной инфраструктуры в соответствии с критериями значимости и показателями их значений, а также порядком осуществления категорирования присваивают одну из категорий значимости принадлежащим им на праве собственности, аренды или ином законном основании объектам критической информационной инфраструктуры, после чего подают сведения в федеральный орган исполнительной власти, уполномоченный в области обеспечения безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, по утвержденной им форме.

Федеральный орган исполнительной власти (Федеральная служба по техническому и экспортному контролю) проверяет соблюдение порядка осуществления категорирования и правильность присвоения объекту критической информационной инфраструктуры одной из категорий значимости и вносит сведения о таком объекте критической информационной инфраструктуры в реестр значимых объектов критической информационной инфраструктуры, о чём в десятидневный срок уведомляется субъект критической информационной инфраструктуры.

Основываясь на вышеизложенном, научная задача порядка формирования требований по техническому регулированию электронной продукции [8], может быть сформулирована следующим образом: «На основе анализа существующей нормативно-правовой базы, определяющей порядок технического регулирования электронной продукции в Российской Федерации, изучения и знания известных групп технического регулирования, определить основные концептуальные требования и положения в части задания направлений подтверждения соответствия электронной продукции, сертификации/лицензированию производств (включая проектирование и разработку), распространения электронной продукции, производимой и (или) реализуемой на территории РФ и развития нормативно-правовой базы РФ, регламентирующей обязательные требования к электронной продукции».

В общем случае формальная постановка научной задачи исследования по разработке концепции по

регулированию формирования и облика системы сертификации производства и распределения продукции может быть сформулирована следующим образом: «На основании имеющихся обобщённых и проанализированных исходных данных о заданных направлениях подтверждения соответствия электронной продукции (P), сертификации/лицензированию производств (включая проектирование и разработку) (S), распространения электронной продукции (R), рисков по невыполнению работ по технологическому развитию за счёт государственных субсидий (T), развития нормативно-правовой базы РФ (N) определить основные концептуальные требования и положения в части технического регулирования подтверждения соответствия электронной продукции, процессов её разработки, производства и распространения, при которых:

$$K \subset \{P, S, R, T, N\} \geq K_{mp.},$$

где: K – разрабатываемые концептуальные положения по регулированию в области электронной продукции;

P – заданные направления подтверждения соответствия электронной продукции;

S – сертификация/лицензирование производств (включая проектирование и разработку);

R – распространение электронной продукции;

T – риски по невыполнению работ;

N – развитие нормативно-правовой базы РФ;

$K_{mp.}$ – современные требования концептуальных положений по регулированию электронной продукции.

Между приведёнными выше категориями (системами) в настоящее время отсутствуют аналитические зависимости, показатели их функционирования не имеют однозначного физического смысла, единой шкалы измерений, а отдельные из них задаются на качественном уровне.

Исходя из этого данная задача не может быть решена с использованием математических методов и для её решения целесообразно применить вербальный подход к разработке научно-методического аппарата обоснования рекомендаций и требований по совершенствованию области технического регулирования электронной продукции.

Решение поставленной научной задачи должно быть осуществлено по средствам определения компетентными экспертами современных требований к процессу технического регулирования в области электронной продукции.

Заключение

Обобщая проведённый анализ существующей нормативно-правовой базы, определяющей порядок технического регулирования в области электронной продукции в Российской Федерации, можно сделать вывод об отсутствии обязательных требований к части электронной продукции, такой как электронные компоненты, платы, диоды и пр. (коды ОКПД 2–26.1, из 26.2, 26.3, 26.7, 26.8, 27.31.1 и др.). В основном данная продукция относится к ЭКБ, модулям и составным частям (блокам) РЭА.

Кроме того, отсутствует система обязательной сертификации производств и распространения продукции гражданского назначения.

Производство и распространение продукции может быть сертифицирована лишь по желанию заявителя (изготовителя) в рамках той или иной системы добровольной сертификации, в частности, на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 9001–2015 «Системы менеджмента качества. Требования».

Применение при сертификации СМК только указанного стандарта не может подтвердить степень соответствия технологического процесса изготовления и поставки изделий электронной продукции требованиям документов по стандартизации и, соответственно, дать достоверную информацию о качестве и надёжности изделий.

В настоящее время с учётом введённого закона, разрешающего «параллельный импорт» в страну иностранной продукции без ведома её правообладателя, обеспечение безопасности всех видов электронной продукции, включая ЭКБ, модули и части (блоки) РЭА является важнейшей задачей.

Пути совершенствования нормативно-правовой базы будут рассмотрены, проанализированы и предложены в следующих публикациях.

Литература

1. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ.
2. Договор о Евразийском экономическом союзе от 29.05.2014 г. (ратифицирован Федеральным законом от 03.10.2014 № 279-ФЗ), в части Раздела X «Техническое регулирование» и Приложения № 9 «Протокол о техническом регулировании в рамках Евразийского экономического союза».
3. Постановление Правительства РФ от 23.12.2021 г. № 2425 «Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подлежащей декларированию соответствия, внесении изменений в Постановление Правительства Российской Федерации от 31.12.2020 г. № 2467 и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации».
4. Решение КТС № 620 от 07.04.2011 г. «О Едином перечне продукции, подлежащей обязательному подтверждению соответствия с выдачей сертификатов соответствия и деклараций о соответствии по единой форме».
5. ГОСТ Р ИСО 9001–2015 Системы менеджмента качества. Требования.
6. Федеральный закон от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».
7. Постановление Правительства РФ от 08.02.2018 № 127 «Об утверждении правил категорирования объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, а также перечня показателей критериев значимости объектов критической информационной инфраструктуры Российской Федерации и их значений».
8. Подъяпольский С. Б., Булгаков О. Ю., Осипова Е. М. «О некоторых аспектах распространения электронной продукции в Российской Федерации». // «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения», – Мытищи, 2022 г. № 3 (7). с. 4–8.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАЧ СИНТЕЗА РЭА В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ОТРАСЛИ

INFORMATION SUPPORT OF SYNTHESIS TASKS IN THE RADIOELECTRONIC INDUSTRY

Колядин А. И., Невмывака А. Н., Чупринов А. А., к. т. н., ФГБУ «ВНИИР»
Kolyadin A. I., Nevmyvaka A. N., Chuprinov A. A., Ph. D., FSBI «VNIIR», kolyadin@gmail.com

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы, связанные с информационным обеспечением процессов разработки (проектирования) изделий радиоэлектронной аппаратуры (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

Не секрет, что прежде чем приниматься за решение любой задачи, стараются найти как можно больше pertinentной этой задаче информации («Pertinentность; pertinentный: Соответствие полученной информации информационной потребности» [1]). Поэтому для организации эффективного информационного обеспечения разрабатываются и возникают предложения по созданию различных информационных ресурсов: баз данных, экспертных систем, баз знаний. При этом мы наблюдаем своеобразный парадокс: лавинообразный рост объёмов информации по ЭКБ сопровождается информационным «голодом», связанным с трудностями поиска и выделения нужной информации. Учитывая нарастание объёмов информации в мире [2], задача «научить» компьютер выделять наиболее важные вещи из огромного потока (объёма) информации с течением времени становится всё более актуальной.

В данной статье рассмотрим 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.

Процессы проектирования относятся к процессам синтеза [3], так как для проектируемых объектов заданы технические характеристики и условия их применения. Задача проектировщика получить удовлетворяющее этим исходным данным изделие РЭА. Проектирование –



Колядин А. И.



Невмывака А. Н.



Чупринов А. А.

один из самых сложных видов интеллектуальной деятельности и информационное обеспечение этой задачи – задача ответственная и не менее сложная. В процессе проектирования радиоэлектронных объектов, как правило, задействован не один человек, а целый коллектив различных специалистов [4]. Каждый из задействованных специалистов занимается либо проектированием части объекта, либо выполнением узкоспециальных проектных операций, например, тепловым расчётом какой-либо конструкции объекта. Стадии и порядок разработки достаточно подробно описаны и регламентированы государственными стандартами, в которых фактически собран и обобщён опыт по организации работы проектировщиков. Примечательно, что на вопрос – «как вы работаете», конструкторы, как правило, отвечают, что работают по стандартам.

В настоящее время накоплен большой опыт проектирования практически всех видов изделий, поэтому в подавляющем большинстве случаев разработка нового изделия или его составной части начинается с поиска и выбора аналога или нескольких

уже существующих аналогов, на основе которых начинается разработка.

Следовательно, задача поддержки проектировщика заключается в создании и использовании информационных ресурсов, позволяющих выбрать аналог создаваемого образца, определить перечень необходимых для его создания электронных компонентов и совокупность технологий и информационных ресурсов отрасли, которые позволят достичь поставленной цели – т. е. использовать базы данных (БД) ЭКБ, БД РЭИТ и БД РЭА.

Помимо этого, важным элементом проектирования является наличие нормативной базы, позволяющей классифицировать объекты и их стандартизовать. Следовательно, разработка классификаторов и стандартов, описывающих и регламентирующих использование новых технологий и электронных компонентов, также является одной из первоочередных задач.

Рассмотрим сказанное выше подробнее.

Основная часть

Описание подходов и определений. На рис. 1 в виде UML (Unified Modeling Language) диаграммы деятельности (UML – унифицированный язык моделирования, принят в качестве стандартного для объектно-ориентированного

анализа и проектирования [5]) представлен обобщённый алгоритм разработки изделия.

Особенностью задач синтеза изделий РЭА является использование информации по радиоэлектронным и информационным технологиям (далее – РЭИТ) и электронной компонентной базе (далее – ЭКБ), при этом технические характеристики (далее – ТХ) РЭА непосредственно зависят от ТХ РЭИТ и ЭКБ, которые будут применены.

Из рис. 1 видим, что:

- для поиска и выбора аналогов проектируемого изделия необходима база данных (далее – БД) РЭА;
- для поиска и выбора ЭКБ необходима БД ЭКБ;
- для поиска и выбора РЭИТ необходима БД РЭИТ.

Помимо наличия баз данных по трём основным объектам предметной области (ПрО) важна сама процедура поиска и выбора, которая должна помочь проектировщику найти приемлемые и, что важно, близкие к оптимальным решения.

Обсуждение

Рассмотрим последовательно основные проблемы, связанные с вышеперечисленными БД.

1) ЭКБ

В 2014 году в Федеральном государственном унитарном предприятии «Мытищинский научно-исследовательский

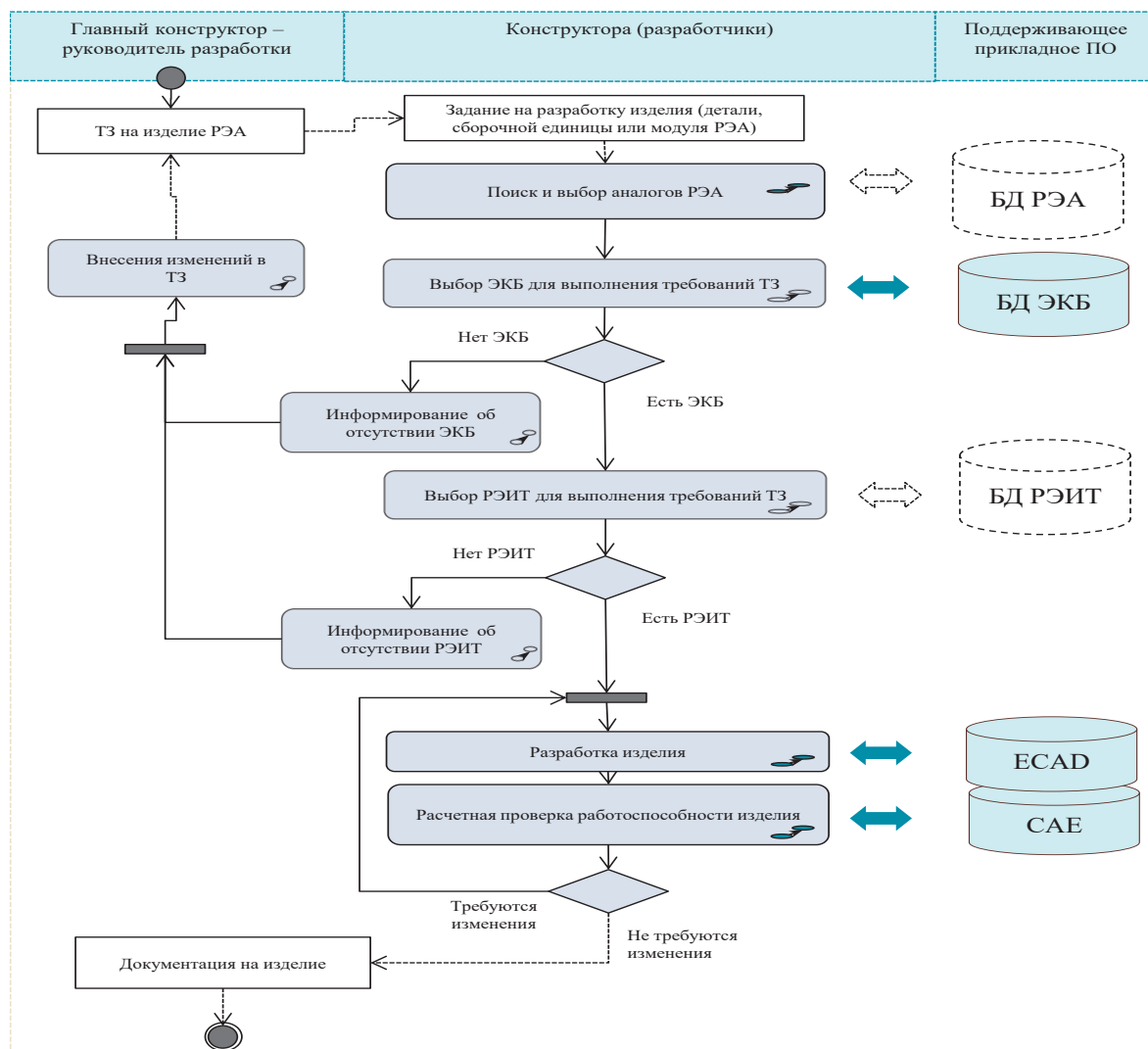


Рис. 1. Обобщённый алгоритм разработки РЭА

институт радиоизмерительных приборов» (в настоящее время Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиоэлектроники») создан макет БД ЭКБ, который использовал структуру и содержание, проверенного годами практического применения, специализированного классификатора ЭКБ (МОП-44), разработанного в ФГУ «22 ЦНИИ МО РФ», и информацию о разработке электронных компонентов отечественного производства, созданных при реализации ФЦП-1, проводимой с 2011 года Департаментом радиоэлектронной промышленности Минпромторга России. С 2016 года был организован удалённый (через Интернет) доступ к БД ЭКБ, а в 2020 году количество подключённых организаций превысило 250. Доступ к содержанию данного информационного ресурса описан на сайте ФГБУ «ВНИИР» по адресу: «www.vniir-m.ru/#slide-show-7».

Несмотря на активное практическое использование БД ЭКБ организациями отрасли, проблемных вопросов по БД достаточно много. На решение одной из важных проблем, связанной с отсутствием единого представления данных по ТХ ЭКБ, направлена работа ФГБУ «ВНИИР» по разработке комплекса национальных стандартов [5].

Целью комплекса стандартов является повышение семантической однозначности данных по ТХ ЭКБ, снижение затрат на разработку, объединение и обслуживание БД, баз знаний и других информационных ресурсов, использующих данные по ЭКБ, а также стандартизация и унификация атрибутов ТХ ЭКБ. Комплекс стандартов предназначен для применения при разработке БД, баз знаний, технических заданий, технических условий и прочего. В настоящее время Техническим комитетом № 165 и Росстандартом принято и опубликовано 9 (девять) национальных стандартов серии ГОСТ Р РФ 59988.XX.XX -2022 г., еще шесть прошли слушания в ТК № 165 и представлены в Росстандарт на нормоконтроль. Работа планируется к завершению в 2024 году. Всего предполагается разработка 45 (сорока пяти) стандартов. Данное количество стандартов определяется тем, что де-факто и де-юре БД ЭКБ содержит 22 (двадцать две части), описывающие существующий состав ЭКБ. При этом, для каждой части электронных компонентов определяется состав ТХ и его уникальный номер (классификатор) (один стандарт) [7], а также, предпочтительное наименование каждой из характеристик (второй стандарт)) [8]. Отдельным стандартом из этой серии являются «Общие положения» [6]. Появление данного комплекса позволит стандартизовать и упорядочить использование данных по ТХ ЭКБ в технической документации отрасли и системах автоматизированного проектирования радиоэлектроники.

Следует отметить, что данные стандарты, с одной стороны, решают узкую задачу определения перечня технических характеристик, необходимых проектировщику для выбора электронного компонента, а с другой – систематизируют информацию в данной области знаний, что, в свою очередь, позволяет перейти к формированию базы знаний, в которой ЭКБ займёт место одного из основополагающих объектов исследования и основы создания прорывных технологий перспективных аппаратно-программных комплексов для РЭА двойного назначения.

Выводы

Основой для разработки РЭА являются электронные компоненты, представленные в виде информационных массивов, структурированных по определённым правилам. В большинстве случаев это базы данных, используемые проектировщиками для разработки опытных образцов РЭА. Для систематизации информационных ресурсов баз данных необходимы специализированные классификаторы и формализованные спецификации ТХ. По ЭКБ для решения этой задачи разрабатывается соответствующий комплекс национальных стандартов серии ГОСТ Р РФ 59988.XX.XX– 2022, первые три из которых уже появились и шесть появятся в ближайшее время в общенациональном доступе в Интернет.

Создание комплекса национальных стандартов по ТХ ЭКБ позволит унифицировать атрибуты ТХ ЭКБ и преодолеть проблемы, связанные с идентификацией и семантической неоднозначностью данных по ТХ ЭКБ, что, в свою очередь, даст возможность стандартизовать создаваемую техническую документацию, технические условия, технические задания на разработку РЭА.

Вопросы, связанные с обсуждением БД РЭА и БД РЭИТ, будут рассмотрены, проанализированы и предложены в продолжении статьи в следующем номере журнала.

Литература

1. ГОСТ 7.73-96 СИБИБД. Поиск и распространение информации. Термины и определения.
2. Люди и биты. Информационный взрыв: что он несёт / Петрович Н. Т. – Москва: Знание. 1986. – 110 с.
3. Осуга С. Обработка знаний / Перевод с японского В. И. Этова – Москва: Мир, 1989. – 293 с.
4. Проектирование радиоэлектронных средств на основе современных информационных технологий: учебное пособие / М. В. Головицына – Москва: Интернет-Университет Информационных Технологий: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 503 с.
5. Лагман К. / Применение UML и шаблонов проектирования, 2-е издание. – Пер. с англ. – Москва: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 624 с.
6. Савин М.Л., Корчагин А.И., Чупринов А.А., Колядин А.И., Егоркин А.В. ГОСТ Р 59988.00.0-2022 Системы автоматизированного проектирования электроники. Информационное обеспечение. Технические характеристики электронных компонентов. Общие положения. / ФГБУ «РСТ», издание официальное, Москва, 2022. – 15 с.
7. Савин М.Л., Корчагин А.И., Чупринов А.А., Колядин А.И., Егоркин А.В. ГОСТ Р РФ 59988.02.2-2022 Системы автоматизированного проектирования электроники. Информационное обеспечение. Микросхемы интегральные. Перечень технических характеристик / Стандартинформ, издание официальное, Москва, 2022. – 47 с.
8. Савин М. Л., Корчагин А. И., Чупринов А. А., Колядин А. И., Егоркин А. В. ГОСТ Р РФ 59988.02.1-2022 Системы автоматизированного проектирования электроники. Информационное обеспечение. Микросхемы интегральные. Спецификации декларативных знаний по техническим характеристикам. // Стандартинформ, издание официальное, Москва, 2022. – 97 с.



Гидроакустическое оборудование Гидра™



Российские малогабаритные, высокопроизводительные гидроакустические системы, комплексы подводного мониторинга.

Разработка - производство - обучение - поддержка

- ◇ Гидролокаторы бокового обзора (ГБО)
- ◇ Интерферометрические ГБО
- ◇ Альтиметры, эхолоты
- ◇ Курсовые гидролокаторы
- ◇ Донные профилографы
- ◇ Датчики, профилографы скорости звука в воде
- ◇ Подводные соединители, кабели

*Гражданское и специальное применение,
глубоководные и сверхглубоководные варианты*



ПРЕИМУЩЕСТВА:

- ◇ Мобильное, стационарное размещение на любых носителях, ТНПА, АНПА
- ◇ Большой диапазон рабочих дальностей/глубин при высоком качестве данных
- ◇ Низкая потребляемая мощность
- ◇ Возможности интеграции
- ◇ Малые габариты и вес
- ◇ Изделия внесены в реестр российской промышленной продукции



ООО «Экран»

Московская область

г.о. Раменское, р.п. Ильинский

hydrasonars.ru





2023



Уважаемые коллеги, дорогие друзья!

Поздравляем вас с Новым годом!

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

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



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