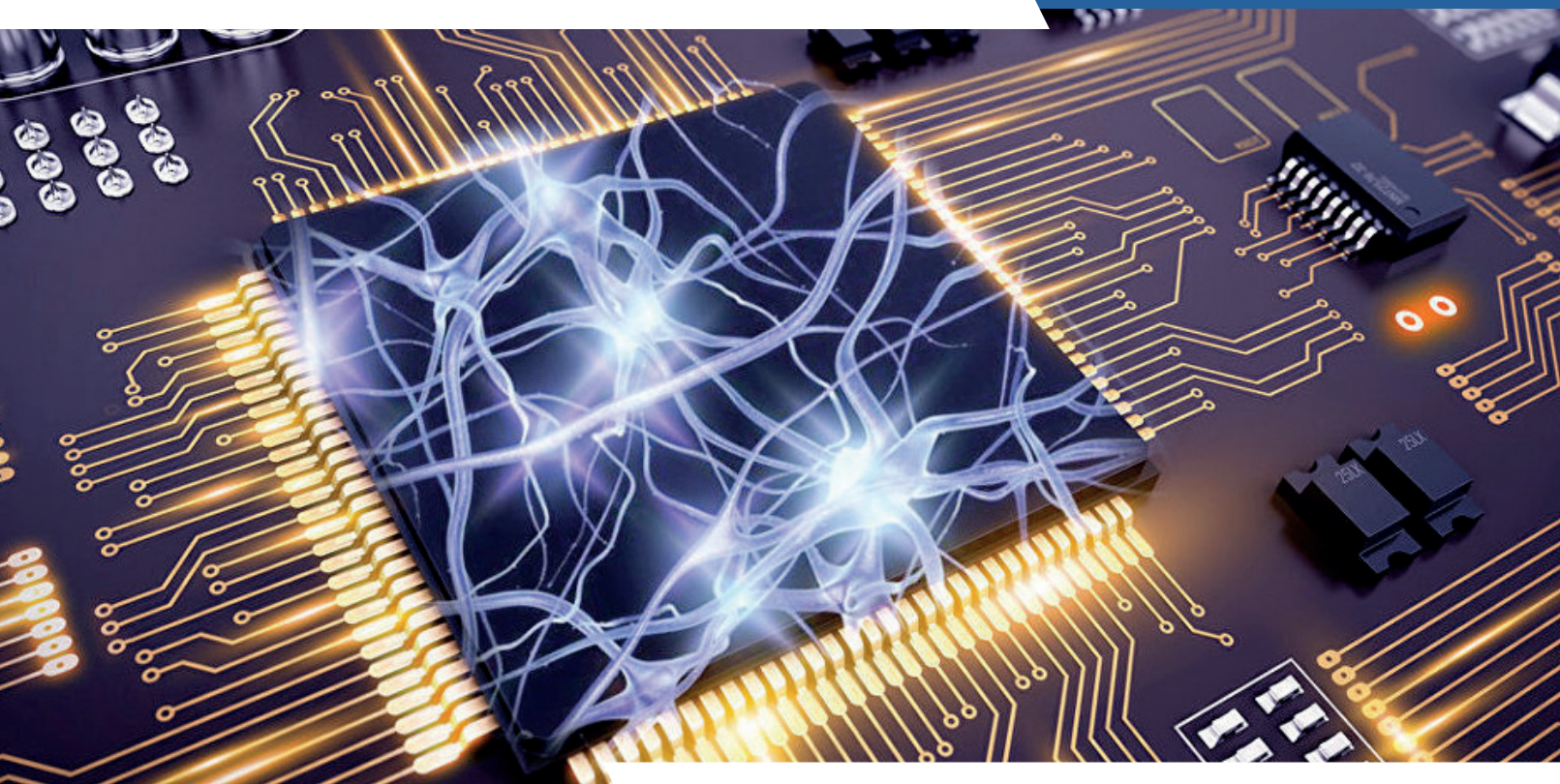


3⁽²³⁾ | РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: 2026 | ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ
СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ**





АВТОНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ «ЦЕНТР СЕРТИФИКАЦИИ И ОБУЧЕНИЯ «ЭЛЕКТРОНСЕРТИФИКА»

АНО «ЭЛЕКТРОНСЕРТИФИКА» аккредитована в качестве:

- органа по сертификации СМК предприятий (организаций) в сфере оборонно-промышленного комплекса в АНО «Центр Квалитет», **Аттестат аккредитации ОА ОПК.RU.130033 от 29.10.2025 г.;**
- органа по сертификации СМК предприятий (организаций) в системе добровольной сертификации РЭА, ЭКБ и материалов, двойного и народнохозяйственного назначения «Электронсерт», **Аттестат компетентности № 03.041.0007-2025 от 30.10.2025 г.;**
- образовательной организации в рамках ДПО, повышения квалификации, **Лицензия № 78463 от 26.08.2020 г.**



СЕРТИФИКАЦИЯ СМК

- предприятий и организаций разработчиков ЭКБ и РЭА
- предприятий и организаций изготовителей ЭКБ и РЭА
- предприятий и организаций поставщиков ЭКБ и РЭА

ОБУЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ

- системы менеджмента качества предприятий и организаций
- проведение испытаний ЭКБ в испытательных лабораториях
- метрологического обеспечения разработки и испытаний ЭКБ и РЭА
- применение ЭКБ отечественного и иностранного производства



141008, Московская область, г.о. Мытищи, г. Мытищи,
ул. Матросова, д. 8, 2-й этаж, офис 9 и 19
+7 (495) 055-05-99, e-mail: elsert@bk.ru, сайт: elsert.ru



ВНИИР

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

СИСТЕМА ДОБРОВОЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ «ЭЛЕКТРОНСЕРТ»

Система добровольной сертификации радиоэлектронной аппаратуры, электронной компонентной базы и материалов военного, двойного и народнохозяйственного назначения «ЭЛЕКТРОНСЕРТ» (рег. № РОСС.RU.B2618.04КМНО)

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СИСТЕМЫ ДОБРОВОЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ «ЭЛЕКТРОНСЕРТ» НАПРАВЛЕНА НА ОРГАНИЗАЦИЮ И ПРОВЕДЕНИЕ РАБОТ В ОБЛАСТЯХ:

- **оценки компетентности (аккредитации) испытательных лабораторий (центров), органов** по сертификации систем менеджмента качества, органов по сертификации продукции, аттестации экспертов;
- **сертификации СМК** предприятий-разработчиков, изготовителей ЭКБ и поставщиков ЭКБ;
- **квалификации поставщиков ЭКБ** отечественного и иностранного производства;
- **подготовки экспертов** по сертификации систем менеджмента качества, аккредитации органов по сертификации систем менеджмента качества, органов по сертификации продукции, испытательных лабораторий (центров) и менеджеров по качеству.



141002, Московская область, г.о. Мытищи, г. Мытищи,
ул. Колпакова, д. 2А, +7 (495) 586-17-21 доб. 1434; 1404;
e-mail: vniir@vniir-m.ru, сайт: vniir-m.ru

РОПир 3(23)/2026 (Основан в 2021 году)

Зарегистрирован в федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-80418 от 09 февраля 2021 г. и перерегистрация ПИ № ФС77-83479 от 15 июня 2022 г.

Научно-технический журнал решением Президиума ВАК включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» («Перечень ...» от 08.07.2024 года).

Статьи журнала размещаются на сайте журнала, сайте РНЖ, 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.З. Курбанов, генеральный директор ФГБУ «ВНИИР»

С.И. Боков, доктор экономических наук

А.В. Брыкин, доктор экономических наук

В.Л. Гладышевский, доктор экономических наук

Н.В. Завьялов, академик РАН

В.М. Исаев, доктор технических наук

Е.Г. Комаров, доктор технических наук

А.А. Рахманов, доктор технических наук

А.С. Сигов, академик РАН

В.Б. Стешенко, кандидат технических наук

В.А. Телец, доктор технических наук

А.В. Трусов, доктор технических наук

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

Заместители главного редактора:

С.Б. Подъяпольский, кандидат технических наук

С.С. Милосердов, кандидат технических наук

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А.С. Афанасьев, кандидат технических наук

В.В. Быканов, кандидат технических наук

З.М. Гальперина, доктор экономических наук

П.С. Желтухин, доктор технических наук

И.Н. Кабанов, доктор технических наук

Р.Г. Левин, кандидат физико-математических наук

Ю.В. Рубцов, генеральный директор АО «ЦКБ «Дейтон»

Д.А. Руденко, кандидат военных наук

Т.Н. Серазетдинов, ген. директор АО «Авиаприбор»

В.А. Трусов, доктор технических наук

Л.А. Фёдорова, академик Академии проблем качества

В.Н. Храменков, доктор технических наук

В.А. Цветкова, доктор технических наук

РЕДАКЦИЯ:

В.А. Сахаров, ответственный редактор

В.В. Малышева, графический дизайнер

Ю.А. Зайцева, редактор-корректор

О.Е. Николаева, редактор-корректор

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

Отпечатано:

Юридический адрес: Колпакова ул., д. 2а, г. Мытищи,
г.о. Мытищи, Московская обл., Россия, 141002

Тел/факс: +7 (495) 586–17–21 / +7 (495) 588–69–61

Сдано в набор 05.09.2026 г.

Подписано к печати 25.09.2026 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 «Электронсертифика» (АНО «Электронсертифика»). Журнал выпускается при содействии Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга России и Российского технологического университета – МИРЭА.

СОДЕРЖАНИЕ**РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ**

Зелякова Т.И., Лучкина М.Е., Овчинникова С.А., Рубан С.О. Воздействие климатических и специальных факторов на полимерные композиционные материалы на основе эпоксидной матрицы 2

Серазетдинов А.П. Анализ основных проблем в области измерений объемных (молярных) долей влаги внутри корпусов микросхем интегральных и пути их решения 6

Дормидошина Д.А., Рубцов Ю.В. Результаты исследований, разработки и запуска систем автоматизированной оптической инспекции изделий электронной техники 12

Конча М.И., Андрияшевская О.В. Методические аспекты к оценке эффективности и целесообразности проведения модернизации и модификации изделий электронной компонентной базы 17

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ

Филатов И.Н., Звягинцев С.А. Федеральная система каталогизации продукции как инструмент информационной поддержки лицензирования деятельности в сфере вооружения и военной техники 25

Кузьминский И.В. Теоретические и методологические аспекты разработки модели управления процессом в части работ по подготовке к принятию государственных военных стандартов в российском институте стандартизации 29

Подъяпольский С.Б., Булгаков О.Ю., Подъяпольский Н.С. Международные подходы к сертификации электронной компонентной базы 34

Быканов В.В., Тишанов О.В., Булгаков В.О. Инновационно-ориентированное развитие метрологической структуры при разработке электронной компонентной базы нового поколения 38

УДК 678.019.36

ВОЗДЕЙСТВИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ НА ПОЛИМЕРНЫЕ
КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ МАТРИЦЫ

INFLUENCE OF CLIMATIC AND SPECIAL FACTORS ON POLYMER
COMPOSITE MATERIALS BASED ON EPOXY MATRIX

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, 32otdel@mail.ru

Zelyakova T.I., Cand. Sc., Luchkina M.E., Ovchinnikova S.A., Ruban S.O.
FSBI 46 Central Research Institute of the Russian Ministry of Defense,
+7 (495) 471-30-23, 32otdel@mail.ru

Аннотация: в статье рассмотрено влияние климатических и специальных факторов на полимерные композиционные материалы на основе эпоксидной смолы, приведены результаты экспериментальных исследований их влияния на композиты нового поколения GR 910, KL-1000-3A.

Annotation: the article examines the influence of climatic and special factors on polymer composite materials based on epoxy resin, and also presents the results of experimental studies of their effect on new generation composites GR 910, KL-1000-3A.

Ключевые слова: микросхемы индустриального класса, композиты, реактопласты GR 910, KL-1000-3A.

Keywords: industrial microcircuits, composites, reactoplastics GR 910, KL-1000-3A.

Научная специальность: 2.2.2.Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств.



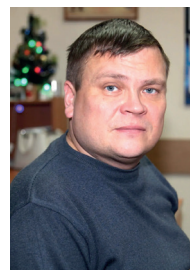
Зелякова Т.И.



Лучкина М.Е.



Овчинникова С.А.



Рубан С.О.

Введение

В условиях санкционных ограничений, несмотря на принимаемые меры по развитию отечественной электронной компонентной базы (далее – ЭКБ), в том числе, для специальной техники и для комплектования аппаратуры ракетно-космической техники, объемы применения электронной компонентной базы иностранного производства остаются большими и, как следствие, зависимость Российской Федерации от использования такой продукции сохраняется. В мировом космическом приборостроении прослеживается тенденция комплектования космических аппаратов радиоэлектронной аппаратурой, построенной на базе электроники индустриального уровня качества, в том числе и в полимерных корпусах.

Поэтому задача по разработке номенклатуры ЭКБ отечественного производства в новых полимерных корпусах, разрешенной (допущенной) к применению в бортовой аппаратуре изделий (систем, комплексов) военной техники, является **актуальной** и представляет несомненный **практический интерес**. С этой

целью решается вопрос получения и применения новых полимерных композиционных материалов для корпусирования микросхем с улучшенными эксплуатационными характеристиками, обеспечивающими возможность их применения в наземной, морской, авиационной, в том числе, и в космической технике.

Анализ конструктивного исполнения разработанных и освоенных в серийном производстве интегральных микросхем и полупроводниковых приборов в период с 2018 по 2022 годы показал, что из 871 типа разработанных изделий 151 тип разработаны в полимерных корпусах [1].

Переход от микросхем в традиционных керамических корпусах на микросхемы в полимерных корпусах, особенно в космическом приборостроении, происходит благодаря преимуществам последних в размере, весе, стоимости, доступности. Кроме того, применение микросхем в полимерных корпусах ведет к сокращению времени цикла проектирования. Однако риски использования полимерных корпусов в любой области применения, требующей повы-

шенной надежности, в большинстве случаев преобладают над перечисленными выше достоинствами по причинам, рассмотренным далее.

Полимерный композиционный материал – это неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов: волокна и матрицы. В качестве волокна используются высокопрочные стеклянные, углеродные, органические, борные и другие волокна. Матрица – это основной связующий компонент в полимерных композиционных материалах, который скрепляет между собой остальные составляющие (волокна, нити, порошки). От материала матрицы значительно зависят свойства композита. Матрицей могут быть как термореактивные смолы (фенольные, эпоксидные, полиэфирные и т. д.), так и термопластичные полимеры (полиамиды, полиэтилен, полистирол и др.).

Реактопласты с минеральными и органическими материалами, применяемые преимущественно методом прессования в процессе изготовления микросхем и полупроводниковых приборов, составляют наиболее многочисленную группу полимерных материалов. К этой группе относятся такие марки полимеров как GR 910 и KL-1000-3A, в качестве полимерной основы (матрицы) которых используется эпоксидная смола, поэтому целесообразно рассмотреть ее свойства.

Эпоксидные смолы (полимеры)

Эпоксидные смолы по своему строению являются простыми полиэфирами, имеющими по концам эпоксигруппы, которые являются достаточно реакционноспособными. На основе эпоксидных смол изготавливаются лаки, компаунды и эмали. Эпоксидные смолы отличаются прочностью, высокой вязкостью и температурой стеклования, негорючестью, хорошей адгезией к различным материалам, малым коэффициентом линейного термического расширения, незначительной усадкой, а при отверждении – высокой химической стойкостью.

Рассмотрим влияние климатических и специальных факторов на эпоксидные смолы и результаты теоретических и экспериментальных исследований полимерных композиций (реактопластов), матрицы которых содержат эпоксидные смолы.

Эпоксидные смолы представляют собой продукты поликонденсации эпихлоргидрина с фенолами различного строения. Особенностью этих материалов является то, что все полимеры этой группы проницаемы для воды. Изотерма сорбции влаги соответствует изотерме лэнгмюровского II типа, когда большая часть сорбированной влаги не растворяется в полимере, а конденсируется на поверхности внутренних микрополостей [2]. В процессе сорбции в полимерной матрице протекают процессы структурирования за счет пластифицирующего действия влаги, которые носят необратимый характер. На практике это приводит к набуханию полимера и физическому старению.

При наличии в полимере коррозионно – активных ионов происходит интенсивное взаимодействие молекул воды с высокополярными группами и образованием электролита, оказывающего корродирующее действие на материалы и детали ЭКБ.

Как и все полимерные материалы эпоксидные смолы подвержены старению (разрушению). Большую роль при старении полимеров играют внешние факторы: температура, свет, ионизирующее излучение, механическое воздействие, химически агрессивные среды. Воздействие **повышенной температуры** значительно ускоряет процессы старения, протекающие в полимерных материалах. Термическое разрушение полимеров обусловлено нагреванием полимера. Оно приводит к разрыву макромолекул, разрушению боковых групп и, вследствие изомеризации макрорадикалов, образованию низкомолекулярных веществ. Скорость и глубина протекания старения определяют ресурс и срок службы материала в составе изделия. Параллельно могут протекать реакции, приводящие к изменению химического состава полимерной матрицы, такие как **термодеструкция и термоокислительная деструкция**. При этом одни полимеры распадаются до исходных мономеров, другие дают множество продуктов разложения. Например, формальдегидные и эпоксидные смолы (отвержденные) выделяют водород, оксид углерода, диоксид углерода. Образовавшиеся летучие продукты деструкции и низкомолекулярные фрагменты могут оказывать корродирующее действие на материалы ЭКБ вплоть до их разрушения со временем и привести к отказам радиоэлектронной аппаратуры при эксплуатации. При реакциях термодеструкции на открытом воздухе необходимо учитывать вклад кислорода, в результате воздействия которого происходит **термоокислительная деструкция**. В процессе термоокислительной деструкции происходит зарождение, развитие и разрыв основной цепи полимера с образованием кетонов, спиртов и кислорода [3].

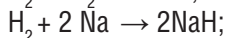
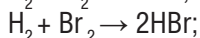
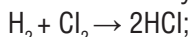
Химическая деструкция представляет собой разрушение макромолекул полимера при действии химических реагентов. Она характерна для полимеров, содержащих в основной цепи группы, способные к химическим превращениям. Глубина деструкции зависит от природы и количества низкомолекулярного реагента, а также условий его воздействия.

Другой вид разрушения – **фотохимическая деструкция (фотодеградация)** представляет собой разрушение макромолекул под влиянием света. Особенно глубокая деструкция полимера происходит под влиянием ультрафиолетовых (далее – УФ) лучей. Энергия кванта УФ-излучения превышает энергию [C-C] связи макромолекулы и не зависит от температуры. Поэтому фотодеградация может развиваться даже при относительно низких температурах, ускоряясь и углубляясь в присутствии кислорода. Фотохимическая деструкция является радикально-цепным

процессом и, в силу малой проникающей способности УФ-излучения, происходит преимущественно в поверхностных слоях полимера.

На практике полимерные покрытия подвергаются воздействию комплекса различных факторов. Во многих случаях в процессе разрушения полимеров образуются свободные радикалы, молекулы могут вступать в реакции рекомбинации, что приводит к увеличению молекулярной массы и сшивки полимера, что сказывается на механической прочности полимера. Разрушение полимера в любых условиях происходит необратимо, так что изменения свойств полимера накапливаются во времени аддитивно.

Воздействие **ионизирующего излучения** на полимерные материалы является критическим фактором при проектировании изделий для космической техники и других областей, где конструкционные материалы подвергаются радиационным нагрузкам. Различные типы композитов демонстрируют существенно разное поведение при облучении, что напрямую связано с их химической структурой. К ионизирующим излучениям относятся частицы, движущиеся с большими скоростями (α - и β -частицы, нейтроны), рентгеновские и γ -лучи. Основные стадии этого процесса – образование летучих продуктов, диффузия их к поверхности, образование монослоя и адсорбция с поверхности. При этом газовыделение сопровождается сорбцией и взаимодействием газов между собой и окружающими материалами. Под действием ионизирующего излучения может быть инициирована реакция водорода с галогенами и щелочными металлами по типу:



$\text{H}_2 + 2\text{K} \rightarrow 2\text{KH}$, образуя коррозионно-активные соединения, которые способны вызывать коррозию металлов, а также инициировать деструктивные процессы в композитах. Например, для коррозии алюминиевой металлизации шириной 10 мкм толщиной 1 мкм достаточно, чтобы в реакцию вступило $5,4 \cdot 10^{-11}$ г воды, хлора – $2,1 \cdot 10^{-11}$ г, Na – $1,1 \cdot 10^{-10}$ г, H_2O – $5,4 \cdot 10^{-11}$ г.

Известны данные по разрушению эпоксидной смолы под действием ионизирующего излучения [4]. С дозы в $1 \cdot 10^8$ рад в полимерах начинается процесс деструкции, что приводит к разрыву химических связей, к изменению химической структуры, понижению или увеличению молекулярной массы полимера, образованию свободных радикалов. Одним из проявлений деструкции является растрескивание полимера.

Эпоксидные полимеры, подвергаются разрушению под воздействием внешних воздействующих факторов (далее – ВВФ), главными из которых являются термическая и термоокислительная деструкции, усиливающиеся при одновременном действии светового излучения с выделением коррозионно-активных

веществ, которые могут оказывать корродирующее действие на материалы.

Кроме того, эпоксидные полимеры сорбируют влагу, в процессе сорбции в полимерной матрице протекают процессы структурирования, которые носят необратимый характер и вызывают изменение деформационных и прочностных свойств полимера, причем действие воды может быть, как пластифицирующим, так и расклинивающим (эффект Ребиндера). Действие ионизирующего излучения на эпоксидный полимер сопровождается газовыделением низкомолекулярных фрагментов, которые могут оказывать корродирующее действие на материалы.

Таким образом, существует принципиальная причинно-следственная связь последовательности или цепи событий, приводящих к отказам элементов. Так, воздействующие на элемент эксплуатационные факторы порождают физико-химические процессы в материалах, которые приводят к изменению свойств этих материалов. В результате этого изменяются параметры элемента и, когда хотя бы один из них выходит из строя, наступает отказ. В этой цепи предшествующее событие выступает как причина последующего события. Исходной же причиной отказов, движущей силой их проявления являются эксплуатационные факторы.

Полимерные композиты (реактопласты) GR 910 и KL-1000-3A

Работая по федеральной программе импортозамещения в сфере микроэлектроники, ЗАО «Группа Кремний ЭЛ» разработало российский новый полимерный реактопласт GR 910, изготовленный только из отечественных материалов, аналог KL-1000-3A фирмы Henkel. Реактопласты представляют собой пластмассы (композиты), переработка которых в изделия сопровождается необратимой химической реакцией, приводящей к образованию неплавкого и нерастворимого материала. Наиболее распространены реактопласты на основе фенолформальдегидных, полиэфирных, эпоксидных и карбамидных смол, которые при нагреве приобретают шитую сетчатую структуру за счет прохождения химической реакции (процесс отверждения). Благодаря сшитой трехмерной структуре, композиции приобретают высокую прочность на разрыв, хорошую эластичность и хрупкость, низкий коэффициент теплового расширения в сравнении с термопластами и возможность применения их при повышенных температурах. Свойства композитов, в том числе и реактопластов, определяются их компонентами: смолой, отвердителем, катализатором, пластификатором, модификатором, наполнителем, аппретом и другими необходимыми добавками.

Далее представлены результаты исследования реактопласта, основой которого является бифенильная эпоксидная смола – эпоксипласт, в качестве наполнителя используют кварц, концентрация кварца на уровне от 65 % до 75 % [4]. Реактопласт способен выдер-

живать достаточно высокие температуры (до 400 °C) без изменений механических и электрических свойств, это выгодно отличает его от других термопластов таких как, полиэтилен, полипропилен, полиамид и т. д. В настоящее время реактопласт проходит исследования на предприятиях соответствующего профиля.

Реактопласты GR 910 и серийный реактопласт HYSOL KL-1000-3A на основе бифенильной эпоксидной смолы разработаны для электронных радиоизделий бытового и промышленного назначения. Сообщается, что данные реактопласты содержат коррозионно-активные ионы: Na⁺, K⁺, Br⁻, Cl⁻, водопоглощение составляет 0,2 % [5]. Современная технология получения герметизирующих материалов позволяет свести к минимуму количество ионов Cl⁻ и других примесей. Так пресс-материалы различных фирм – изготовителей содержат в своем составе ионогенных примесей от $5 \cdot 10^{-3}$ % до $5 \cdot 10^{-6}$ %. Макромолекулы полимерной матрицы реактопластов в своем составе содержат [-Si-O-Si-]-группы, фенильные и достаточно реакционно-активные эпоксид-группы. Как было сообщено ранее, полимеры на основе эпоксидной смолы сорбируют влагу по лэнгмюровскому типу. При наличии гидрофильных высокополярных групп, таких как Na⁺, K⁺, Br⁻, Cl⁻ и влаги, теоретически первоначально происходит интенсивное взаимодействие молекул воды с высокополярными группами полимера – гидратация ионных и полярных фрагментов полимера с образованием электролита. Последующие порции воды могут пластифицировать полимерную матрицу, что может привести к увеличению подвижности сегментов и к проникновению влаги к поверхности кристалла и вызвать корродирующее действие на материалы и детали микросхем.

Следовательно, наличие в полимерах коррозионно-активных ионов, повышенной температуры, влажности окружающей среды делает их потенциально ненадежными для защиты алюминиевой металлизации. Кроме того, необходимо учитывать, что миграция подвижных ионов по поверхности активных областей кристалла микросхем вызывает деградацию их электрических параметров. Одна из главных проблем в этом случае связана с ростом токов утечки, вызывающих нестабильность работы как биполярных, так и полевых приборов, в частности, схем памяти. В состав заливочного наполнителя входит антипирен, который содержит в своем составе атомы брома и сурьмы, что может вызвать ускоренную деградацию интерметаллической области контактной площадки интегральных микросхем на границе раздела золото-алюминий.

Таким образом, реактопласты GR 910 и KL-1000-3A, которые содержат коррозионно-активные ионы: Na⁺, K⁺, Br⁻, Cl⁻, Sb, Br являются теоретически потенциально ненадежными для защиты алюминиевой металлизации интегральных микросхем специального назначения и требуют дальнейших исследований.

Натурные испытания реактопластов GR 910 и KL-1000-3A

В работе [5] представлены результаты испытания реактопласта GR 910 на основе бифенильной эпоксидной смолы, которые проводились в ЗАО «Группа Кремний ЭЛ» на образце корпуса ТО-252 (без полости), причем одновременно испытывались образцы корпуса с использованием серийного реактопласта KL-1000-3A. Воздействие ионизирующего излучения не проводилось. Показано, что реактопласт отличается хорошей адгезией к металлам, высокой теплоустойчивостью (до 430 °C), низким влагопоглощением, отсутствием выделения влаги и ионов Na⁺ и Cl⁻.

Исследуемый композиционный полимерный материал (композит) GR 910 и KL-1000-3A имеет необходимые характеристики, и может быть широко использован для корпусирования микросхем и приборов бытового и промышленного назначения. Для использования композитов в условиях космического пространства необходимы натурные испытания с воздействием радиации.

Заключение

Учитывая вышеизложенное, следует вывод:

1. Полимерные материалы подвергаются старению и разрушению под воздействием ВВФ, главными из которых являются термическая и термоокислительная деструкции, усиливающиеся при одновременном действии ионизирующего излучения с выделением коррозионно-активных веществ.
2. Новые композиционные полимерные материалы (реактопласты) GR 910 и KL-1000-3A на основе эпоксидной матрицы имеют необходимые характеристики для широкого их использования при корпусировании микросхем бытового и промышленного назначения.
3. Для использования композитов в условиях космоса необходимо проведение натурных испытаний с воздействием радиации. Испытания и анализ их результатов позволят окончательно решить, являются ли эти корпуса альтернативой металлокерамическим.

Литература

1. Научно-технический отчет о НИР «Сопровождение-20-2-46 ЦНИИ» – Москва: 46 ЦНИИ, 2021.
2. Рейтлингер С.А. «Проницаемость полимерных материалов». – М.: Химия, 2004. – 268 с.
3. Архиреев В.П. «Старение и стабилизация полимеров: учеб. Пособие». Казань: КГТУ, 2002. – 88 с.
4. Тютнев А.П. и др. «Диэлектрические свойства полимеров в полях ионизирующих излучений (кн.5)» / М.: Наука, 2005. – ISBN 5-02-033650. – 453 с.
5. Кочегин О., Громов В., Брюхно Н. Котова М., Абашин Е., Огнев В. «Программа импортозамещения на предприятии «Группа Кремний ЭЛ»: полимерное корпусирование» // ЭЛЕКТРОНИКА/ НАУКА/ БИЗНЕС–2017. № 7. С. 64–68.

УДК 543.51

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПРОБЛЕМ В ОБЛАСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ОБЪЕМНЫХ (МОЛЯРНЫХ) ДОЛЕЙ ВЛАГИ ВНУТРИ КОРПУСОВ МИКРОСХЕМ ИНТЕГРАЛЬНЫХ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

ANALYSIS OF THE MAIN PROBLEMS IN THE FIELD OF VOLUMETRIC (MOLAR) MEASUREMENTS THE PROPORTION OF MOISTURE INSIDE THE INTEGRATED CIRCUIT HOUSINGS AND WAYS TO SOLVE THEM

Серадзинов А.П., начальник лаборатории № 4, ФГБУ «ВНИИР»,
+7(495) 586-17-21, seradzinov@vniir-m.ru

Seradzinov A.P., head of laboratory № 4, FGBI "VNIIR",
+7 (495) 586-17-21, seradzinov@vniir-m.ru

Аннотация: в статье представлен краткий анализ существующих методов измерений объемных (молярных) долей влаги внутри корпусов микросхем, основные требования к процедурам поверки, калибровки (юстировки) анализаторов влаги, основные причины расхождения результатов измерений объемных (молярных) долей влаги внутри корпусов микросхем на различных анализаторах влаги. Предложена оригинальная конструкция для создания стандартного образца объемной (молярной) доли влаги. Представлены предложения и научно-методические обоснования применения стандартных образцов для повышения достоверности результатов измерений объемных (молярных) долей влаги внутри корпусов микросхем на различных анализаторах влаги.

Annotation: the article presents a brief analysis of existing methods for measuring the volume (molar) fractions of moisture inside the enclosures of microcircuits, the basic requirements for the procedures for verification, calibration (alignment) of moisture analyzers, the main reasons for the discrepancy between the measurement results of volume (molar) fractions of moisture inside the enclosures of microcircuits on various moisture analyzers. An original design is proposed to create a standard sample of the volume (molar) fraction of moisture. Proposals and scientific and methodological justifications for the use of standard samples to increase the reliability of measurement results of volume (molar) fractions of moisture inside microcircuit housings on various moisture analyzers are presented.

Ключевые слова: объемная доля влаги, стандартный образец, состав газовой среды, электронная компонентная база, интегральная микросхема, подкорпусное пространство.

Keywords: volume (molar) fraction of moisture, standard sample, composition of the gas environment, electronic component base, integrated chip, and sub-body space.

Научная специальность: 2.2.9. Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры.

Введение

Одним из важнейших факторов обеспечения работоспособности радиоэлектронной аппаратуры (далее – РЭА), с длительным сроком активного существования, является работоспособность и надежность, применяемой электронной компонентной базы (далее – ЭКБ) и, в первую очередь, микросхем интегральных (далее – микросхем), определяющих основные показатели функционирования РЭА.

Одним из параметров, влияющих на показатели надежности микросхем, изготовленных в герметичных корпусах, имеющих внутренние свободные объемы, является содержание объемной (молярной) доли влаги (далее – ОДВ) внутри корпусов.

Результаты проводимых испытаний на существующих в настоящее время установках: МКМ-1, ДМТ-МСР и EDA-407 (далее – анализаторы влаги) в соответствии с методами 222-1 ГОСТ РВ 5962.004.2 [1] и 222-1 ОСТ 11 073.013 [2] и с учетом методик измерений, представленных в руководствах по эксплуата-



Серадзинов А.П.

ции на данные анализаторы влаги, свидетельствуют о расхождении в результатах измерений ОДВ внутри корпусов микросхем, получаемых для одной и той же партии изделий на различных и однотипных анализаторах влаги [3].

Сложность калибровки (юстировки) анализаторов влаги в межповерочный интервал, обязательность проведения достоверных измерений ОДВ внутри корпусов микросхем, в том числе в процессе периодических испытаний, при контроле технологических

процессов, проведении сличительных испытаний (контроля) в условиях расхождения результатов в различных испытательных лабораториях (центрах), а также в рамках рекламационной работы определяют актуальность и востребованность данной работы для предприятий радиоэлектронной отрасли.

Основная часть

Объектом исследования являются оборудование и методики, применяемые для измерений газового состава подкорпусного пространства микросхем масс-спектрометрическим методом.

Предметом исследования является расхождение результатов измерений ОДВ внутри корпусов микросхем.

Задачей исследования является определение возможных причин расхождения результатов измерений и путей обеспечения достоверности результатов измерений ОДВ.

Анализ состояния исследования в данной предметной области

Специалистами ФГБУ «ВНИИР» был проведен анализ отечественных и зарубежных документов по стандартизации и научно-технических публикаций в области исследований влияния различных газов на работу электронных устройств, а также анализ нормативно-технической документации на анализаторы влаги.

В настоящее время международная практика измерений содержания газовой среды внутри корпусов микросхем основана на применении масс-спектрометрического метода, так как он позволяет наиболее точно и с относительно низкими финансовыми затратами обеспечить проведение данных работ.

Масс-спектрометрический анализ газовой среды внутри корпусов микросхем первоначально был направлен только на измерение ОДВ для предотвращения возникновения коррозии конструктивных элементов микросхем. По мере накопления информации о работе и надежности ЭКБ, а также анализа данных масс-спектрометрии, были выявлены и другие летучие вещества, которые оказывают влияние на надежность работы микросхем [4, 5].

В отечественных и зарубежных стандартах [1, 2, 6, 7, 8] установлена одинаковая норма содержания ОДВ внутри корпусов микросхем – не более 0,5 %, что соответствует 5000 млн⁻¹ (ppmv).

При этом в зарубежных стандартах [7, 8] особое внимание уделяется требованиям по повышению достоверности результатов измерений путем обязательного проведения калибровки (юстировки) анализаторов влажности перед еженедельно и ежеквартально, а также предварительной подготовки микросхем к проведению измерений (регламентирована продолжительность отжига микросхем при температуре 125 °С в течении 16 часов).

Таблица 1

Требования отечественных и международных стандартов в области измерений ОДВ

Наименование параметра	ОСТ В 11 0998	ОСТ 11 073.013	ГОСТ РВ 5962-004.2	MIL-STD-883	SOP MEL-1053
ОДВ (H ₂ O), не более об. % (млн ⁻¹)	0,5 (5000)	Согласно ТУ	Согласно ТУ	0,5 (5000)	0,5 (5000)
Продолжительность предварительного отжига при 125 °С, час	–	–	–	от 16 до 24	от 16 до 24
Проведение калибровки (юстировки) для H ₂ O = 0,5 % перед каждым измерением	–	–	–	Проводится	Проводится
Еженедельная калибровка (юстировка) по N ₂ , He, фторуглеродам, O ₂ , Ar, H ₂ , CO ₂ , CH ₄ , NH ₃	–	–	–	–	Проводится
Ежеквартальная калибровка (юстировка) по H ₂ O	–	–	–	Проводится	–
Ежеквартальная калибровка (юстировка) по N ₂ , He, фторуглеродам, O ₂ , Ar, H ₂ , CO ₂ , CH ₄ , NH ₃	–	–	–	Проводится	–

Методики измерений ОДВ внутри корпусов микросхем включают в себя следующие основные операции:

- калибровка масс-спектрометра по эталонным газовым смесям (только в зарубежных стандартах);
- очистка поверхности микросхемы в ацетоне или спирте;
- отжиг микросхемы в термокамере в течении не менее 16 часов при температуре 125 °С (только в зарубежных стандартах);
- отжиг микросхемы в вакуумной камере анализатора влажности при температуре 125 °С одновременно с откачкой воздуха в течении времени, необходимого для стабилизации парциального давления паров воды внутри вакуумной камеры;
- стабилизация температуры внутри вакуумной камеры анализатора влажности на уровне 100 °С;
- вскрытие корпуса микросхемы путем прокалывания крышки корпуса микросхемы иглой;
- измерение состава газовой среды внутри корпуса микросхемы.

В настоящее время в США Национальным управлением по авиации и исследованию космического пространства (далее – NASA) для анализа газовой среды внутри корпусов микросхем применяются анализаторы влаги фирмы ORS, inc.

Анализаторы влаги ORS, inc изначально были сконструированы на базе квадрупольного масс-спектрометра IVA (аналогичной конструкции с анализатором влаги EDA-407 производства Германии). В настоящее время ORS, inc разработан более совершенный анализатор влаги высокого разрешения «HR-IVA™ high resolution Time-of-Flight mass spectrometer» на базе времяпролетного масс-спектрометра [9] (аналогичной конструкции с анализатором влажности МКМ-1 отечественного производства).

В настоящее время на территории Российской Федерации в испытательных лабораториях (центрах) применяется следующие анализаторы влаги:

- МКМ-1, изготовитель Российская Федерация;
- EDA-407, изготовитель Германия;
- ДМТ-МСР, изготовитель Республика Беларусь.

При выполнении процедур поверки, а также калибровки (юстировки) анализаторов влаги в межповерочный интервал в камеру анализатора влаги через вентиль натекается подаваемая газовая смесь от источника (газовый баллон и парогенератор), находящегося вне измерительной камеры анализатора влаги при температуре и давлении, отличающихся от условий внутри измерительной камеры. Кроме того, объем подаваемой в камеру газовой смеси при калибровке анализаторов влаги в десятки раз превышает объем газовой смеси, поступающей в масс-спектрометр при измерении ОДВ внутри корпусов микросхем.

Начиная с 2003 года, на конференциях по микроэлектронике в США обсуждались проблемы различных результатов измерений ОДВ внутри корпусов микро-

схем, принадлежащих одной партии [10]. В качестве решения данной проблемы ORS, inc. предлагалось разработать и изготовить стандартный образец влажного газа для проведения сличительных испытаний и калибровки различных типов анализаторов влаги.

NASA признало ценность этого подхода и впоследствии профинансировало работы по созданию стандартных образцов «Single sample cylinder» (SSC – цилиндр с одной пробой).

Конструкция иностранных стандартных образцов не позволяет проводить измерения пробного газа в условиях идентичных испытаниям микросхем, что не позволяет достоверно определить погрешность, неопределенность, повторяемость и воспроизводимость измерений на анализаторах влаги. Кроме того, анализ иностранного рынка показал отсутствие сведений о серийном производстве и свободной продаже таких стандартных образцов.

2 Изложение сущности научного результата исследования

Для решения задачи данного исследования предлагается оригинальная конструкция для изготовления отечественных стандартных образцов ОДВ (см. рис. 1) и установки для их заполнения газовой смесью с известным содержанием ОДВ (см. рис. 2).

Конструктивно стандартный образец представляет собой капсулу, состоящую из корпуса с крышкой и капилляров.

Корпус и капилляры изготавливаются из нержавеющей стали. Внутренние поверхности корпуса подвергаются химическому (электрохимическому) полированию для минимизации возможной сорбции молекул воды на внутренних стенках.

Крышка корпуса толщиной от 0,1 до 0,2 мм изготавливается из прецизионного сплава металла – Ковар (по аналогии с корпусами серийных микросхем) и приваривается к корпусу методом шовно-роликовой сварки.

Заполнение корпуса газовой смесью с известным содержанием ОДВ производится через капилляры.

В отличие от корпусов микросхем герметизацию стандартных образцов предлагается выполнять путем обжима кончиков капилляров (после заполнения капсул газовой смесью с известным содержанием ОДВ) с последующей пайкой бесфлюсовым припоем в безвоздушной среде.

Стандартные образцы предлагается изготавливать трех объемов: 40 мм³, 300 мм³, 600 мм³ с различным содержанием ОДВ: 0,15 %, 0,5 %, 1,0 % с пределами допускаемой относительной погрешности ± 5 %. Это обеспечит возможность проведения калибровки и поверки существующих анализаторов влаги, измеряющих ОДВ в пределах допускаемой относительной погрешности измерений в диапазоне ± 10 %.

Выбор конструктивных размеров стандартных образцов основан на анализе типоразмеров микросхем.

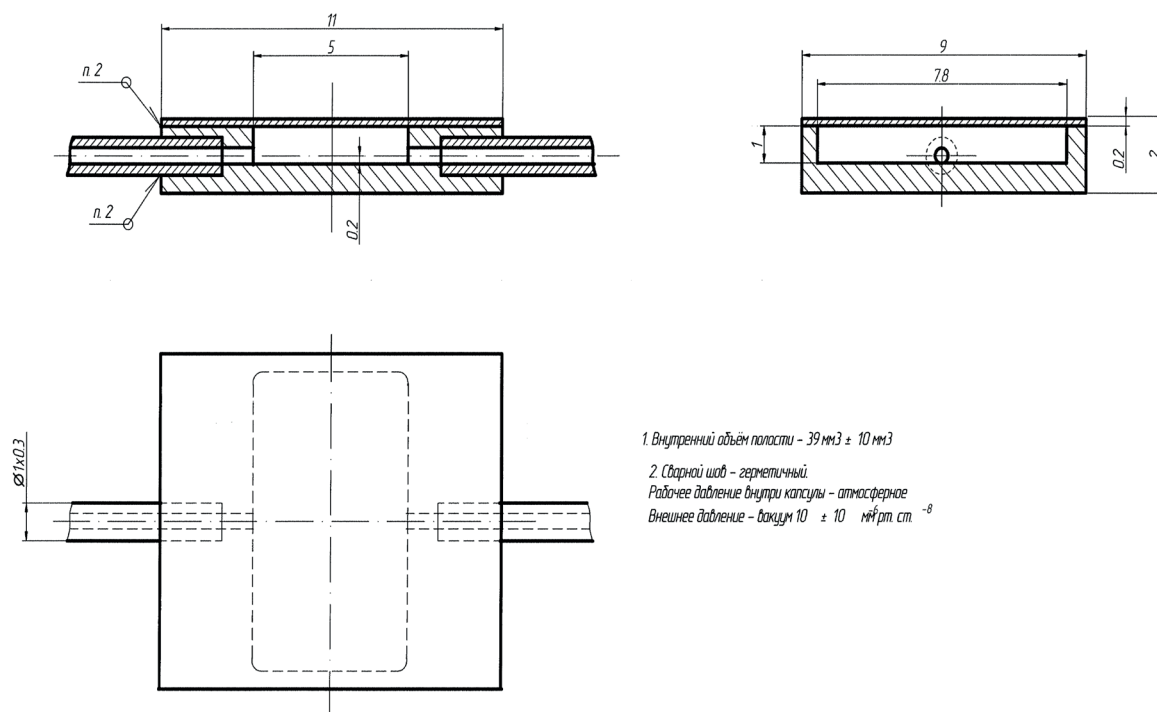


Рис. 1. Конструкция стандартного образца ОДВ



Рис. 2. Схема установки для заполнения стандартных образцов газовой смесью с известным содержанием ОДВ

Анализ перечня корпусов ЭКБ [11] показал, что наиболее востребованными на отечественном рынке являются металлостеклянные и металлокерамические корпуса типа 4.

Конструкция установки для заполнения стандартных образцов газовой смесью с известным содержанием ОДВ состоит из:

- газовых баллонов с особо чистым азотом;
- генератора влажного газа для насыщения азота известным содержанием ОДВ;
- системы подачи газовой смеси в стандартные образцы через капиллярные трубки с контролем дав-

ления и расхода газа;

- устройство коммутации стандартных образцов;
- системы нагрева и поддержания повышенной температуры окружающей среды для минимизации процессов сорбции молекул воды на внутренних стенках газового тракта и корпуса стандартного образца;
- контрольного гигрометра для измерений содержания ОДВ внутри стандартных образцов;
- программно-аппаратного комплекса для управления процессом заполнения стандартных образцов газовой смесью.

3 Предложения по применению результатов исследования

Применение стандартных образцов с различным содержанием ОДВ позволит:

- учесть случайную и систематическую погрешности измерений при юстировке и поверке анализаторов влаги;
- разработать единую типовую методику измерений ОДВ для различных типов анализаторов влаги, включающую требования по обязательной калибровке анализаторов влаги в межповерочный интервал;
- внести изменения в существующие стандарты по измерению ОДВ внутри корпусов микросхем, а также методики поверки анализаторов влаги в части обязательных требований по применению стандартных образцов для калибровки (юстировки) и поверки существующих анализаторов влаги.

Проведение поверки и калибровки (юстировки) анализаторов влаги в межповерочный интервал с применением стандартных образцов позволит обеспечить прослеживаемость измерений ОДВ к Государственному первичному эталону ГЭТ 151 в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений влажности газов и температуры конденсации углеводородов, утвержденной приказом Росстандарта от 21 ноября 2023 года № 2415 (далее – Государственная поверочная схема).

4 Научно-методическое обоснование предложений

В результате проведенного ФГБУ «ВНИИР» анализа причин расхождения результатов измерений ОДВ на различном оборудовании установлены следующие основные причины:

В настоящее время в Российской Федерации отсутствуют стандартные образцы ОДВ, позволяющие проводить калибровку (юстировку) и поверку анализаторов влаги в условиях идентичных процедуре измерения ОДВ внутри корпусов микросхем;

Проведение калибровки (юстировки) анализаторов влаги в межповерочный интервал является обязательным и основным требованием для обеспечения точности измерений согласно эксплуатационной документации. Данная процедура осуществляется путем ввода в камеру анализатора влаги газовых смесей с известным содержанием ОДВ.

Для получения достоверных результатов калибровки (юстировки) анализаторов влаги, процедура и условия ее проведения должны быть идентичны процедуре и условиям проведения измерений ОДВ внутри корпусов микросхем, установленным в нормативных документах и руководствах по эксплуатации анализаторов влаги.

Измерение ОДВ внутри корпусов микросхем осуществляется (при обеспечении достижения требуемых значений температуры и давления) путем прокалывания корпуса микросхемы в условиях по-

вышенной температуры окружающей среды 100 °С и пониженного атмосферного давления 10^{-8} мм рт. ст. в камере анализатора влаги. Парогазовая смесь из корпуса попадает в измерительную камеру. Далее производится анализ пробы в измерительной камере анализатора влаги с применением масс-спектрометра. Анализируемая в измерительной камере проба теряет часть первоначально содержащейся в ней влаги за счет оседания ее на стенках измерительной камеры и газопроводов. Учитывая значительную (превышающую более чем в 100 раз), по сравнению с корпусом микросхемы, площадь внутренней поверхности камеры, количество влаги, перешедшей из пробы на поверхность стенок измерительной камеры, оказывает заметное влияние на содержание ОДВ в анализируемой пробе.

В настоящее время поверка и калибровка (юстировка) анализаторов влаги проводится путем подачи парогазовой смеси (сухой азот с влагой из парогенератора) в измерительную камеру через натекаТЕЛЬ от источника газа, находящегося вне измерительной камеры в других влияющих условиях (температура и давление).

При калибровке (юстировке) с применением внешней парогазовой смеси происходит длительный контролируемый напуск этой смеси в камеру. Соответственно, объем смеси, прошедший через камеру анализатора влаги, на порядки больше объема смеси, напускаемой из корпуса микросхемы. Длительный процесс подачи газовой смеси будет приводить к увеличению влаги на стенках измерительной камеры. Длительное пропускание анализируемой внешней пробы необходимо для продувки внешних газовых линий (уравновешивания процессов сорбции-десорбции влаги в них). К тому же обеспечить точное дозирование внешней пробы в камеру анализатора (соизмеримое с объемом подкорпусного пространства микросхем) технически невозможно без искажения свойств самой пробы.

Сопоставление и анализ применяемого в оборудовании способа проведения калибровки (юстировки) анализаторов влаги на основе ввода в измерительную камеру и анализа газовых смесей с известным содержанием ОДВ показывают не идентичность процессу ОДВ при прокалывании корпусов микросхем.

Такие составляющие аппаратурной погрешности измерения анализаторов влаги на основе масс-спектрометров, как температура в измерительной камере, давление, начальное содержание ОДВ на стенках камеры (уровень фона), их сорбционная способность, остаются неизменными в течении длительного времени для каждого конкретного анализатора влаги и могут быть учтены при индивидуальной юстировке каждого анализатора с помощью стандартного образца перед проведением измерений.

Некорректное вычитание измеренного фоновое значения сигнала H_2O внутри камеры анализатора влаги от измеренного значения сигнала H_2O внутри корпуса микросхемы в следствии сохранения не стабилизированных сигналов фона, а также при возникновении флуктуаций сигналов в ионном или измерительном тракте, вызванных срывом адсорбции при малых значениях сигналов H_2O существенно может повлиять на результат замера.

Некорректному сохранению фоновых сигналов существенным образом способствуют отклонения от методики подготовки микросхем к измерениям (предварительная очистка и отжиг микросхем).

Любая механическая или химическая очистка микросхем должна проводиться таким способом, чтобы не нарушать целостность их корпусов.

Предлагаемый в работе подход основан на воспроизводимости условий подачи исследуемого газа в измерительную камеру масс-спектрометра при измерении содержания ОДВ в подкорпусном пространстве микросхем и при поверке / калибровке (юстировке) анализаторов влаги.

Подход применения стандартных образцов различного объема с различным содержанием ОДВ строится на максимальном воспроизведении условий измерений ОДВ внутри корпусов микросхем (внутренний объем стандартного образца соответствует внутреннему объему испытываемой микросхемы), в которых проводятся калибровка (юстировка) анализаторов влаги и измерения ОДВ, что сводит к минимуму дополнительные погрешности, возникающие за счет разных подходов к подаче эталонной пробы.

Стандартные образцы заполняются парогазовой смесью с паспортным значением ОДВ. Стандартные образцы будут применены для калибровки (юстировки) на основании прослеживаемости применяемых при их заполнении средств измерений к Государственному первичному эталону ГЭТ 151-2020 в соответствии с Государственной поверочной схемой.

Значение ОДВ в газовой смеси, которой будут заполняться стандартные образцы, предлагается определять при помощи высокоточного гигрометра с конденсационным зеркалом. Погрешность определения значения ОДВ заполняемого газа будет определяться в пределах допустимой относительной погрешности измерений в диапазоне $\pm 2,5\%$.

Одним из наиболее важных параметров в конструкции стандартных образцов является показатель их герметичности и как следствие способность сохранять состав внутренней газовой среды в течении времени. В настоящее время при контроле качества корпусов микросхем широко применяется масс-спектрометрический метод измерений герметичности по показателю скорости утечки гелия из предварительно отпрессованных в гелии корпусов. Данный метод предлагается применить для подтверждения

стабильности качества конструкции стандартных образцов во времени с учетом условий хранения.

Этот комплекс мер позволит приписывать значение ОДВ для стандартных образцов в пределах допускаемой относительной погрешности измерений в диапазоне $\pm 5,0\%$ в соответствии с Государственной поверочной схемой.

Литература

1. ГОСТ РВ 5962.004.2-2012 «Микросхемы интегральные. Методы испытаний. Испытания на воздействие климатических факторов и сред заполнения».
2. ОСТ 11 073.013-2008 «Микросхемы интегральные. Методы испытаний».
3. Серадзинов А.П., Погосов Г.С., Подъяпольский Б.С., Злобин И.С. «Контроль содержания паров воды в подкорпусном пространстве интегральных микросхем, многокристалльных модулей и микросборок, исследование основных проблем и путей их решения». // Радиоэлектронная отрасль проблемы и их решения, 2021. – № 3. – С. 8 – 11.
4. Lowry R. K., Richard, Kullberg R. C., Rossiter D.J. "Harsh environments and volatiles in sealed enclosures" / Surface Mount Technology Association International Technical Conference, October 24-28, 2010, Orlando, FL, PP. – С. 380–386.
5. Прокошева Д.А., Серадзинов А.П. «Анализ газового состава среды подкорпусного пространства ЭКБ, оказывающего влияние на качество и надежность изделий (обзор информационных материалов)». // Радиоэлектронная отрасль проблемы и их решения, – 2025. – № 1 (17). – С. 28–32.
6. ОСТ В 11 0998-99 «Микросхемы интегральные. Общие технические условия».
7. MIL-STD-883L, Department of defense / Test method standard Environmental test methods for microcircuits / Part 1: Test methods 1000 – 1999, Method 1018.10, 16 September 2019. – 10 с.
8. SOP MEL-1053, Internal Vapor Analysis of Micro-electronic Devices, Rev 1 – 28 July 1999. – 4 с.
9. Oneida Research Services, inc: официальный сайт. – URL: www.ors-labs.com / (дата обращения: 24.03.2025).
10. Oneida Research Services, inc. «Цилиндр с одной пробой для корреляции RGA», журнал Международное общество микроэлектроники и упаковки (JMEP), (ISSN 1551-4897), 2 квартал, 2007 – № 2. – С. 64 – 71.
11. Перечень корпусов ЭКБ - 2024, книга 1, М.: АО «ЦКБ «Дейтон», 2024. – 226 с.

УДК: 004.8; 621.3

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, РАЗРАБОТКИ И ЗАПУСКА СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ИНСПЕКЦИИ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

RESULTS OF RESEARCH, DEVELOPMENT AND LAUNCH OF AUTOMATED OPTICAL INSPECTION SYSTEMS FOR ELECTRONIC PRODUCTS

Дормидошина Д.А., технический директор, эксперт по стандартизации,
+7 (925) 104-77-96, dormidoshina@deyton.ru,

Рубцов Ю.В., генеральный директор, эксперт по стандартизации,
АО «ЦКБ «Дейтон», +7 (926) 009-37-00, rubtsov@deyton.ru

Dormidoshina D.A., Technical, expert on standardization;
+7 (925) 104-77-96, dormidoshina@deyton.ru,

Rubtsov U.V., General Director, expert on standardization,
JSC "Central Design Office «Deyton», +7 (926) 009-37-00, Rubtsov@deyton.ru

Аннотация: в настоящей статье представлены результаты, полученные авторами в процессах исследований, разработки и запуска систем автоматизированной оптической инспекции изделий электронной техники в 2025 году и в первом квартале 2026 года в цехах изготовителей электронной техники.

Annotation: this article presents the results obtained by the authors in the research, development, and launch of automated optical inspection systems for electronic products in 2025 and the first quarter of 2026 in the workshops of electronic equipment manufacturers.

Ключевые слова: изделия электронной техники, автоматизированная оптическая инспекция контроля качества, технологии искусственного интеллекта, компьютерное зрение, глубокое обучение, нейронные сети.

Keywords: electronic products, automated optical inspection for quality control, artificial intelligence technologies, computer vision, deep learning, neural networks.

Научная специальность: 2.2.9. Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры.

Введение

Низкое качество изготавливаемой радиоэлектронной продукции может на (15-20) % повлиять на доходы изготовителей. Это значительная сумма, которую можно потерять из-за того, что изделие не соответствует заявленным требованиям. В радиоэлектронной промышленности допускать попадание дефектных изделий к потребителям или отбраковывать качественные изделия электронной техники (далее – ИЭТ) из-за ложных срабатываний крайне убыточно и существенно снижает рейтинг предприятий [1].

Раньше предприятия полагались на специалистов-инспекторов, которые осматривали ИЭТ, проверяя их на наличие дефектов. Хотя человек может обладать невероятно острым зрением, но в своем большинстве не в силах выполнять монотонную и при этом интенсивную работу. Инспектор может уставать или отвлекаться в тот момент, когда имеется дефект. Автоматизированная система оптического обнаружения дефектов (далее – АПАК) не устает и способна работать в ночную смену.

Переход на АПАК не исключает человеческий фактор, а, наоборот, повышает его значимость. Вместо выявления дефектов специалисты могут со-



Дормидошина Д.А. Рубцов Ю.В.

средоточиться на устранении первопричин их возникновения. Этот современный сдвиг способствует повышению эффективности производства, гарантируя ожидания потребителя.

Развитие структуры систем автоматизированной оптической инспекции изделий электронной техники

Исследования в области эргономики показывают, что эффективность ручного контроля качества ИЭТ снижается на 25 % после часа непрерывной инспекции. Ручные проверки ставят на кон репутацию предприятия, полагаясь на готовность инспектора к работе. Современные производственные линии работают быстро. В производстве ИЭТ продукция может перемещаться со скоростью, которая превращает отдель-

ные элементы ИЭТ в размытое пятно. Если линия работает со скоростью 90 единиц продукции в минуту, то обнаружить трещину толщиной 3 мкм является невыполнимой задачей для человека. Он видит то, что ожидает увидеть – как правило это идеальный продукт. Этот психологический феномен, известный как «слепота невнимательности», заставляет инспекторов смотреть на дефект и не замечать его.

АПАК исключает этот фактор. Компьютерное зрение (далее – КЗ) захватывает изображения за микросекунды, фиксирует движение и анализирует каждый пиксель по отношению к эталонному образцу. Это объективный и беспристрастный подход.

В основе технологии работы АПАК лежит математика и свет. Типичная АПАК включает три основных компонента, работающие согласовано [2]. Если один из них неисправен, система не должна эксплуатироваться.

Оптика и освещение занимают важное место в структуре АПАК. Большинство специалистов фокусируются на разрешении камеры, но освещение также играет заметную роль [3]. Если оптика и освещение не позволит увидеть царапину на поверхности ИЭТ, 50-мегапиксельный сенсор камеры не поможет. Подсветка отлично подходит для измерения контуров элементов ИЭТ. Структурированный свет обеспечивает обнаружение трехмерных деформаций. Купольное освещение устраняет тени на блестящих отражающих поверхностях (например, на многоводных рамках микросхем).

После захвата изображения КЗ, программное обеспечение (далее – ПО) [4] берет на себя управление данными. В традиционных понятиях это основано на правилах, например, «если расстояние между точкой один и точкой два меньше 100 мкм, изделие не соответствует требованиям».

Это отлично подходит для простых задач типа «прошел / не прошел», например, проверки наличия элемента в ИЭТ. Если дефект субъективен АПАК переходит к оптическому контролю на основе искусственного интеллекта (далее – ИИ). АПАК, основанные на правилах, испытывают трудности с органическими формами. Царапина на поверхности ИЭТ может выглядеть по-разному каждый раз. Запрограммировать жесткое правило для «царапины» практически невозможно, потому что невозможно определить все возможные вариации царапины. Используя глубокое обучение (далее – ГО), мы обучаем систему на примерах, а не по правилам. Мы показываем системе 5000 изображений годных изделий и 1000 изображений бракованных. Нейронная сеть (далее – НС) благодаря ГО самостоятельно определяет разницу.

В основе оптического контроля лежит оценка: дефектов поверхности (царапин, вмятин, ямок, включений, загрязнений); точности размеров (длина, ширина, высота, зазоры, кромки); чистоты и текстуры поверхности; покрытий и маркировки; полноты элементов ИЭТ и их выравнивание.

Задача АПАК заключается в классификации предполагаемых дефектов. Специалист может либо подтверждать найденный дефект, либо отмечает его как допустимую вариацию процесса, либо констатирует ложное срабатывание. Допустимые вариации или индикаторы процесса особо важны. ПО, обрабатывая введенную специалистом информацию, в режиме реального времени может сигнализировать о появлении негативного тренда. Например, появление большого количества допустимых дефектов, связанных с недостаточной толщиной покрытий контактных площадок, служит сигналом для пересмотра и настройки процессов гальваники.

Эта возможность преобразует интеллектуальный контроль в производстве. Система учится обращать внимание на безобидные вариации, такие как микрокапля стекла на поверхности площадки под кристалл металлостеклянного корпуса, которая просто убирается, но если остается – может нарушить структурную целостность микросхемы.

Применение АПАК позволяет не только обнаруживать дефекты, но и обеспечивает улучшение технологических процессов на основе данных. Когда инспектор работает вручную, брак попадает в соответствующую корзину для брака и на этом все заканчивается. Возможно, кто-то пересчитывает ИЭТ в конце смены.

При использовании АПАК каждый брак фиксируется по времени и классифицируется. Возникают вопросы, например, увеличивается ли количество дефектов каждый понедельник с 8 утра? Постоянно ли левая сторона пресс-формы для упаковки микросхем в пластик делает заусенцы? Увеличился ли процент брака после смены поставщика материалов? Эти данные позволяют инженерам-технологам ремонтировать технологическое оборудование до того, как оно начнет производить тысячи бракованных ИЭТ. Это меняет философию с «обнаружения брака» на «предотвращение брака».

В регулируемых отраслях, таких как производство ИЭТ, необходима документация. Если потребитель пожалуется на дефект через шесть месяцев, АПАК позволит получить точное описание состояния качества изделия в день его изготовления. Можно доказать, что изделие покинуло предприятие в требуемом состоянии. Такой уровень защиты бесценен.

Развитие технологий в системах автоматизированной оптической инспекции изделий электронной техники

В АПАК применяются разные технологии. Выбор подходящей зависит от задач инспекции.

При исследовании задач и построении АПАК используются: 2D – 3D камеры, лазеры, интерферометрия, структурированный свет, гиперспектральная визуализация, каждая из которых подходит для различных целей контроля, материалов поверхностей, допусков и темпов производства.

Сравнение технологий

Технология	Применения	Преимущества	Недостатки
2D-сканирование	Наличие элементов ИЭТ, правильность маркировки	Минимальное время внедрения, экономично	Сложно обнаруживать дефекты по высоте или глубине
3D-сканирование	Измерение размеров, анализ микрорельефа поверхности	Обнаруживает глубину, невосприимчиво к изменениям освещения	Более дорого, более медленная обработка
Линейное сканирование (1D)	Инспекция печатных плат в АПАК конвейерного типа	Высокое разрешение для поверхностей большой площади	Требует точной синхронизации движений
Лазерные триангуляционные датчики	Измерение высоты, плоскостности	Высокая точность	Высокая стоимость
Лазерные линейные сканеры:	Инспекция сложных геометрических форм	Высокая точность	Высокая стоимость
Интерферометрия	Интерференция световых волн для измерения микроскопических изменений на поверхностях	Обнаружение дефектов поверхностей размером менее микрона. Уменьшает количество ложных срабатываний в интерферометрических измерениях	Высокая стоимость
Структурированный свет	Источники структурированного света проецируют полосы или сетки на ИЭТ, а камеры фиксируют искажения	Быстрое трехмерное измерение сложных геометрических форм	Требуется полная изоляция от внешнего света
Гиперспектральная и мультиспектральная визуализация	Обнаружение неравномерностей покрытий за пределами видимого спектра невидимых для стандартных камер	Обнаружение дефектов поверхности размером менее микрона	Высокая стоимость. Требуется полная изоляция от внешнего света
Конфокальная микроскопия	Получение трехмерных изображений микроструктур и текстур поверхности с высоким разрешением	Ускоряет обнаружение микродефектов. Высокая контрастность и точность, возможность трёхмерного моделирования структуры	Высокая стоимость оборудования и необходимость специальных условий для проведения инспекции

В АПАК технологии могут совмещаться. Пример представлен на рис. 1. Инспектируемая печатная плата (далее – ПП) укладывается горизонтально, на защищенную от повреждений матрицу нижнего подсвета с изменением цветов и интенсивностей. Включается инспекция. Линейная камера передвигается поступательно и захватывает изображения, обрабатывая их с помощью технологий КЗ. Фиксируются доступные дефекты. В места с «подозри-

тельными» участками изображений отправляется зональная камера и проверяет наличие дефектов (как правило, в отверстиях). Предварительно, АПАК обучается с помощью технологий ИИ на участках ПП с дефектами, на определенных значениях интенсивностей и цветов матрицы нижнего подсвета. АПАК формирует протокол с указанием типа (вида) дефекта в определенных участках ПП.

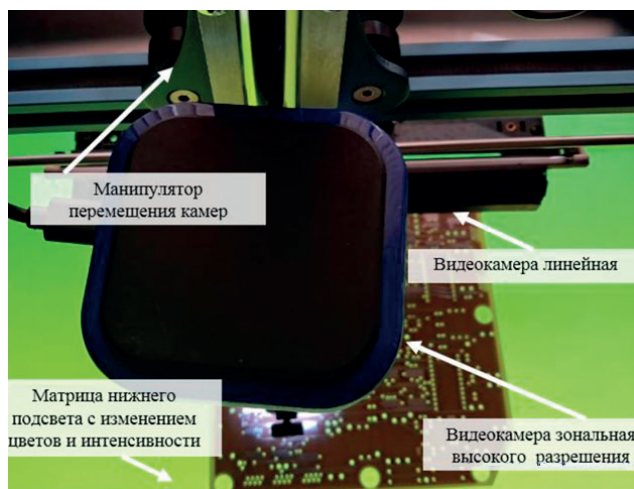


Рис. 1. Пример совмещения технологий линейного сканирования и 3D сканирования для инспекции качества ПП

Аналогичный пример с микроизоляторами представлен на рис. 2. Изделия укладываются вертикально на паллету, которая размещается на матрицу нижнего подсвета с изменением цветов и интенсивностей. Включается проверка. Линейная камера передвигается и снимает изображения, обрабатывая их с помощью технологий КЗ. Фиксируются доступные дефекты. В места с подозрительными участками изображений отправляется зональная камера и проверяет наличие дефектов.

Предварительно, АПАК обучается с помощью технологий ГО и НС на участках с дефектами, на определенных значениях интенсивностей и цветов матрицы нижнего подсвета. АПАК формирует протокол с указанием типа (вида) дефекта в определенных ячейках паллеты (в местах размещения изделий) для дальнейшей их сортировки.

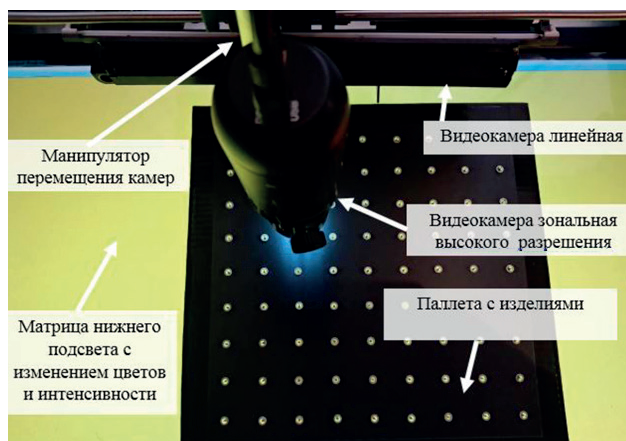


Рис. 2. Пример совмещения технологий для инспекции микроизоляторов

АПАК невозможно создать приобретением камеры и прикреплением ее к конвейеру. Если зависеть требования к АПАК – будут отбраковываться качественные ИЭТ. Это называется «избыточностью». И не желательно, потому что снижается объем выхода годной продукции. Баланс заключается в тонкой настройке ПО для понимания правил инспекции.

Именно в этом случае применение АПАК имеет решающее значение.

Факторы окружающей среды

АПАК, работающая в лаборатории, может не работать в цеху. Причины: различные условия эксплуатации – вибрация, пыль, окружающий свет. Имеется уникальный случай, когда во время внедрения АПАК начинала сбоить ежедневно около 14 часов. Оказалось, что луч солнца отражался от элемента оборудования под таким углом, что ослеплял камеру. Промышленная автоматизация требует прочных, закрытых установок, которые жестко защищаются от воздействия окружающей среды. В производстве изделий микроэлектроники даже пылинки – это большая проблема. На рис. 3 показана АПАК инспекции пластины с кристаллами с очисткой надповерхностных сторонних частиц, в том числе пыли.

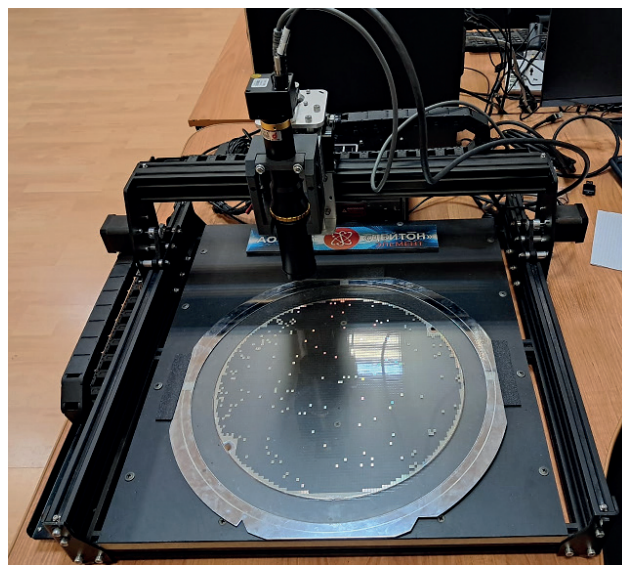


Рис. 3. Инспекция пластины 300 мм с кристаллами и очисткой надповерхностных сторонних частиц

Автоматический визуальный контроль здесь обязателен. АПАК сканируют пластины на наличие микроскопических повреждений в цепях. Без этой технологии современная отечественная электроника не может существовать. ПП (рис. 1) имеют сотни отверстий с радиусом 0,15 мм. Определить повреждение металлизации в таких отверстиях возможно только с АПАК.

При этом отражающие или полупрозрачные поверхности требуют использования специализированной оптики и освещений. Добавление камер, датчиков, роботов или новых рабочих процессов обработки данных может потребовать модификации конвейеров или систем TQM и MES [5]. Интеграция часто является наиболее трудоемким этапом. Правила обратной связи в реальном времени должны быть тщательно настроены, чтобы избежать сбоев в процессах.

Специалисты должны понимать и выполнять методики калибровки, настройки освещения, интер-

претации изображений, классификации и разметки дефектов. Отсутствие надлежащего обучения ведет к ошибкам инспекции.

Ошибки в идентификации дефектов приводят к ненужной доработке или упущению проблем с качеством. Баланс между чувствительностью и специфичностью, а также использование алгоритмов контроля с поддержкой ИИ имеют решающее значение для надежного обнаружения дефектов в существующей среде окружения.

Высокоскоростные камеры и 3D-системы генерируют огромные объемы данных. Требуются достаточные объемы хранения, вычислительные мощности и стандартизированные рабочие процессы для преобразования необработанных данных в полезную информацию. Кибербезопасность и интеграция ИТ являются дополнительными факторами, которые необходимо учитывать в взаимосвязанных средах.

Заключение

Радиоэлектронная промышленность прошла этап ручной (визуальной) инспекции качества ИЭТ. Время на обнаружение дефектов сокращается, а требования к качеству ИЭТ растут. КЗ, ГО, НС, технологии ИИ в составе АПАК обеспечивают стабильность инспекции и обеспечивают интеллектуальный анализ данных о дефектах, необходимых для изготовления современных ИЭТ.

Для достижения успеха уделяется пристальное внимание освещению, окружающей среде, интеграции, управлению данными и обучению специалистов, чтобы обеспечить надежную работу АПАК в реальных производственных условиях.

Речь идёт не только о фильтрации некачественной продукции, но и о понимании причин возникновения дефектов и совершенствовании технологических процессов. Будь то миниатюрные кристаллы или крупно габаритные силовые полупроводниковые диоды, АПАК должны достоверно определять дефекты.

Высокая точность, повторяемость, контроль в режиме реального времени, сбор данных и долгосрочная экономическая эффективность делают АПАК стратегическим вложением в производство ИЭТ.

Успех зависит от продуманных результатов разработки и внедрения. АПАК – это больше, чем инструмент контроля качества. Это стратегическая инвестиция, которая повышает операционную эффективность, поддерживает непрерывное совершенствование и обеспечивает долгосрочную прибыльность.

Производители, которые внедряют АПАК и сочетают их с отработанными передовыми методами разработки и изготовления ИЭТ, имеют наилучшие возможности для выпуска ИЭТ без дефектов и защиты репутации предприятия.

Литература

1. Булгаков О.Ю., Лепешкин А.В., Осипова Е.М. «Совершенствование системы оценки соответствия и подтверждения качества электронной продукции» // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2023. № 2. С. 28-31.
2. Рубцов Ю.В., Малышев В.Э., Назаренко А.А. «Определение дефектов на изделиях микроэлектроники в режиме реального времени при помощи сверхточной нейронной сети» // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2025. № 1 (17). С. 18-21.
3. Дормидошина Д.А., Евстифеев Ю.А., Ключников В.Н., Ключников Е.Н., Рубцов Ю.В. «Разработка и внедрение АПАК для поиска дефектов изделий микроэлектроники с помощью искусственного интеллекта - Часть 12. Тенденции развития систем освещения в методах автоматизированного оптического обнаружения дефектов изделий электронной техники в 2025 г.» // Электронные компоненты. 2026. № 1. С. 40-44.
4. Дормидошина Д.А., Рубцов Ю.В. «Обзор и анализ методов предварительной обработки изображений в автоматическом оптическом контроле качества изделий электронной техники» // Флагман науки. 2025. № 8 (31). С. 100-111.
5. Дормидошина Д.А. «Компьютерное зрение в системах контроля качества продукции и связь с TQM и MES» // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2025. № 1 (17). С. 21-28.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ
МОДЕРНИЗАЦИИ И МОДИФИКАЦИИ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ****METHODOLOGICAL ASPECTS FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS AND EXPEDIENCY OF MODERNIZATION
AND MODIFICATION OF ELECTRONIC COMPONENT PRODUCTS BASES****Конча М.И., Андрияшевская О.В., +7 (495) 471-34-80, oksana527@mail.ru****Koncha M.I., Andriyashevskaya O.V., +7 (495) 471-34-80, oksana527@mail.ru**

Аннотация: в статье рассматриваются методики оценки эффективности и целесообразности проведения модернизации и модификации изделий электронной компонентной базы (ЭКБ). Предложены количественные и качественные критерии оценки степени преемственности с исходным (базовым) изделием, позволяющие осуществить выбор между проведением модернизации (модификации) существующего исходного (базового) изделия и разработкой принципиально нового (оригинального) изделия ЭКБ. Разработаны алгоритмы принятия решений, основанные на сопоставлении приращения технического эффекта и дополнительных затрат на разработку и освоение новых элементов (деталей, узлов) и технологических процессов. Методики обеспечивают снижение сроков и затрат на освоение в производстве новых типономиналов ЭКБ при сохранении высокого уровня качества и надежности.

Annotation: the article discusses methods for evaluating the effectiveness and expediency of modernization and modification of electronic component base (ECB) products. Quantitative and qualitative criteria for assessing the degree of continuity with the original (basic) product are proposed, allowing for a choice between upgrading (modifying) the existing original (basic) product and developing a fundamentally new (original) ECB product. Decision-making algorithms have been developed based on comparing the increment of the technical effect and the additional costs of developing and mastering new elements (parts, assemblies) and technological processes. The techniques ensure a reduction in the time and cost of mastering the production of new ECB type terminals while maintaining a high level of quality and reliability.

Ключевые слова: электронная компонентная база (ЭКБ), модернизация, модификация, степень преемственности, технический уровень, экономическая эффективность, критерии оценки, базовое изделие.

Keywords: electronic component base (ECB), modernization, modification, degree of continuity, technical level, economic, efficiency, evaluation criteria, basic product.

Научная специальность: 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств; 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производств.

Введение

Современные требования к электронной компонентной базе (далее – ЭКБ) диктуют необходимость постоянного обновления и улучшения характеристик выпускаемых изделий. По оценкам специалистов, ежегодно требуется разрабатывать и осваивать в производстве до 1,5–2 тысяч новых типов, типономиналов и вариантов исполнения изделий ЭКБ [1]. При этом значительная часть новых изделий может быть создана путем преобразования существующих изделий ЭКБ через модернизацию или модификацию.

Однако на практике возникает проблема выбора между проведением модернизации (модификации) существующего исходного (базового) изделия и разработкой принципиально нового (оригинального) изделия ЭКБ. Отсутствие методик оценки эффективности этих процессов приводит к необоснованным затратам, увеличению объемов испытаний, сроков разработки и освоения в производстве, и снижению конкурентоспособности отечественной ЭКБ.

**Конча М.И.****Андрияшевская О.В.**

Особую остроту проблема выбора приобретает при учёте разнонаправленных интересов участников жизненного цикла ЭКБ. Заказчик (включая НИО заказчика) требует гарантированного достижения технических характеристик при минимальных рисках срыва сроков и сохранении высокой надежности разработки, подтвержденной объемом испытаний. Предприятие-разработчик (изготовитель) стремится минимизировать объём новых конструктивных

и технологических решений, чтобы сократить затраты и время освоения, максимально используя существующее технологическое оборудование и оснастку. Именно степень преемственности с исходным (базовым) изделием выступает формализованным критерием, позволяющим согласовать эти интересы и обоснованно выбрать между модернизацией (модификацией) или созданием принципиально нового изделия ЭКБ.

Целью настоящей статьи является разработка научно обоснованных методик оценки эффективности и целесообразности проведения модернизации и модификации изделий ЭКБ с учетом их степени преемственности с исходным (базовым) изделием.

Решение этой задачи позволит осуществить выбор между проведением модернизации (модификации) существующего исходного (базового) изделия и разработкой принципиально нового (оригинального) изделия ЭКБ, и обеспечить рациональное распределение ресурсов.

Основная часть

Ранее было предложено, выбор варианта преобразования исходного (базового) изделия ЭКБ осуществлять на соответствие качественных признаков отнесения к модернизации, модификации и совершенствованию изделий (таблица 1) [2].

Таблица 1

Качественные признаки отнесения к модернизации, модификации и совершенствованию изделий ЭКБ

Признаки	Изменение признака при		
	модернизации	модификации	совершенствовании
Значения показателей целевого (функционального) назначения изделия	Улучшаются	Сохраняются или изменяются	Сохраняются (как правило)
Область применения (специализация)	Сохраняется или расширяется	Изменяется	Сохраняется
Технический уровень	Повышается	Сохраняется	Сохраняется
Производство базового (исходного) изделия	Прекращается (как правило)	Продолжается	Продолжается с внесенными изменениями
Взаимозаменяемость основных составных частей	Нарушается	Нарушается	Сохраняется
Технические условия	Заменяются	Дополняются	Остаются без изменений (как правило)

Примечание: вариант «совершенствование» в статье не рассматривается, так как при нем оценка эффективности вносимых изменений в изделие ЭКБ осуществляется посредством проведения типовых испытаний, сохраняется взаимозаменяемость [3] с базовым изделием и не возникает выбора между преобразованием и новой разработкой.

Следствием выбора проведения модернизации изделия ЭКБ является выполнение опытно-конструкторской работы (далее – ОКР) по его модернизации. Работы по модификации изделия ЭКБ специального назначения было предложено проводить на основании соответствующего решения по программе квалификационных испытаний [3].

Для обеспечения эффективности модернизации рекомендуется предварительно оценить:

- степень преемственности изделия ЭКБ, в пределах которых эффективность наибольшая;
- возможность повышения технического уровня в результате модернизации.

Степень преемственности изделия ЭКБ определяют сопоставлением желаемого приращения эффекта от использования изделия и дополнительных затрат на разработку и освоение в производстве оригинальных (новых) составных частей (деталей) и технологических процессов.

Для оценки возможности повышения технического уровня изделия ЭКБ рекомендуется задаться минимально допустимым приростом технического уровня. Если такой прирост недостижим с учетом сохранения преемственности с выпускаемым исходным изделием ЭКБ, то проводить модернизацию нецелесообразно. В этом случае целесообразно переходить к разработке нового оригинального изделия ЭКБ, позволяющего благодаря снятию ограничений, связанных с использованием исходного изделия ЭКБ, достичь более высокого технического уровня [4].

При модификации следует оценить степень преемственности с базовым изделием ЭКБ, позволяющей при минимуме дополнительных затрат обеспечить эффективность использования модификаций в новых условиях эксплуатации (применения).

Необходимость разработки нового (оригинального) изделия ЭКБ вместо модификации выпускаемого изделия ЭКБ решается так же, как для модернизации [2].

1. Теоретические основы оценки преемственности изделий ЭКБ

1.1. Понятие и критерии оценки преемственности

Под *степенью преемственности* изделия ЭКБ понимается мера сохранения конструктивных, технологических и эксплуатационных характеристик исходного (базового) изделия в преобразованном

варианте. Степень преемственности определяется как отношение количества сохраненных элементов и характеристик к общему количеству элементов и характеристик исходного (базового) изделия.

Для количественной оценки степени преемственности предлагается использовать систему критериев, представленную в таблице 2.

Таблица 2

Система критериев оценки степени преемственности изделий ЭКБ

Группа критериев	Конкретные показатели	Метод оценки	Диапазон значений
Конструктивная преемственность	Доля сохраненных конструктивных элементов (деталей, узлов)	Отношение количества сохраненных элементов к общему количеству	0–1
Технологическая преемственность	Доля сохраненных технологических операций	Отношение количества сохраненных операций к общему количеству	0–1
	Использование существующего оборудования	Бинарная оценка (1 – сохранено, 0 – изменено)	0 или 1
	Сохранение базовой технологии изготовления	Бинарная оценка (1 – сохранено, 0 – изменено)	0 или 1
Эксплуатационная преемственность	Сохранение условий применения	Бинарная оценка (1 – сохранено, 0 – изменено)	0 или 1
	Сохранение режимов работы	Бинарная оценка (1 – сохранено, 0 – изменено)	0 или 1
	Сохранение интерфейсов подключения	Бинарная оценка (1 – сохранено, 0 – изменено)	0 или 1

Интегральный показатель степени преемственности (СП) рассчитывается по формуле (1):

$$СП = (K_k \cdot W_k + K_t \cdot W_t + K_z \cdot W_z) / (W_k + W_t + W_z), \quad (1)$$

где K_k – коэффициент конструктивной преемственности;

K_t – коэффициент технологической преемственности;

K_z – коэффициент эксплуатационной преемственности;

W_k, W_t, W_z – весовые коэффициенты групп критериев.

Весовые коэффициенты определяются в зависимости от группы (типа) изделий(я) ЭКБ, могут устанавливаться экспертным путем либо при проведении дополнительных исследований в нормативно-технических документах. Сумма всех весовых коэффициентов должна быть равна единице: $\sum W_i = 1$.

Для модернизации W_k и W_t могут иметь больший вес (например, 0,4 и 0,4), так как важно минимизировать затраты на изменение конструкции и производства. W_z может быть ниже (0,2), так как эксплуатационные характеристики могут целенаправленно улучшаться.

Для модификации W_z может получить наибольший вес (например, 0,5), если цель – адаптация под новые условия (изменение области применения), а W_k и W_t – по 0,25, так как конструктивные и технологические изменения неизбежны.

Формулы расчета коэффициентов конструктивной K_k , технологической K_t и эксплуатационной K_z преемственности, основанные на системе критериев из таблицы 2 представлены ниже.

K_k оценивает степень сохранения конструкторских решений базового изделия:

$$K_k = D_k = (n - n_0) / n, \quad (2)$$

где D_k – доля сохраненных конструктивных элементов. Рассчитывается по аналогии с расчетом коэффициента применимости (формула А.1 ГОСТ РВ 0015–207–2018) [5] как отношение количества конструктивных элементов (деталей, узлов), заимствованных без изменений из базового изделия, к общему количеству элементов в базовом изделии. $D_k \in [0, 1]$;

n – общее количество конструктивных элементов (деталей, узлов) в базовом изделии;

n_0 – количество оригинальных конструктивных элементов (деталей, узлов).

K_T отражает степень использования существующей производственной базы и технологических процессов:

$$K_T = ((D_T + \Sigma B_{Ti}) / N_T) / (1 + M_T), \quad (3)$$

где D_T – доля сохраненных технологических операций. Рассчитывается как отношение количества неизменных технологических операций (сборка, пайка, проверка и т.д.) к общему количеству операций в технологическом процессе базового изделия. $D_T \in [0, 1]$;

ΣB_{Ti} – сумма бинарных оценок по технологическим критериям;

N_T – количество бинарных технологических критериев ($N_T = 2$);

M_T – аналогичный балансирующий коэффициент, равный 1.

Формула (3) представляет собой среднее взвешенное между долей сохраненных технологических операций и средней оценкой по бинарным критериям. Если все элементы сохранены ($D_T = 1$) и оба бинарных критерия выполнены ($\Sigma B_{Ti} = 2$), то $K_T = (1 + 2/2) / (1+1) = (1+1) / 2 = 1,0$.

Коэффициент стремится к 1,0, если технологический процесс изменён минимально и не требуются капитальные вложения в новое оборудование или переобучение персонала.

K_3 характеризует неизменность условий и правил применения изделия для заказчика (потребителя):

$$K_3 = \Sigma B_{3i} / N_3, \quad (4)$$

где ΣB_{3i} – сумма бинарных оценок по эксплуатационным критериям;

N_3 – количество бинарных эксплуатационных критериев ($N_3 = 3$).

Для эксплуатационной преемственности ключевыми являются именно бинарные критерии «Да/Нет». Если для потребителя не меняются правила применения, коэффициент будет высоким (1,0 при выполне-

нии всех условий). Это снижает затраты на переобучение и переоснащение испытательных стендов.

1.2. Связь преемственности с экономическими и техническими показателями

Степень преемственности (далее – СП) напрямую влияет на экономические (затраты и сроки на разработку оригинальных деталей и изделия в целом, на освоение производства, которые обратно пропорциональны СП, стоимость изделия, которая имеет прямую зависимость от СП) и технические (риск возникновения дефектов, которые обратно пропорциональны СП, надежность изделия, которая имеет прямую зависимость от СП, возможность достижения требуемых характеристик) показатели эффективности преобразования изделий ЭКБ.

При степени преемственности выше 0,7 экономическая эффективность модернизации или модификации значительно превышает эффективность разработки нового изделия. При СП ниже 0,3 целесообразно рассматривать вариант создания принципиально нового (оригинального) изделия.

2. Методика оценки целесообразности модернизации изделий ЭКБ

Модернизация изделий ЭКБ направлена на повышение технического уровня и улучшение потребительских свойств исходного (базового) изделия с возможностью прекращения производства исходного варианта.

2.1. Критерии оценки прироста технического уровня

Для оценки возможности повышения технического уровня предлагается использовать критериальную систему, основанную на сравнении значений ключевых параметров исходного (базового) и модернизированного изделий.

Основные критерии представлены в таблице 3 на примере системы параметров приемо-передающего модуля СВЧ диапазона [6].

Таблица 3

Критерии оценки прироста технического уровня при модернизации приемо-передающего модуля

Параметр	Базовое значение	Требуемое значение	Прирост (%)	Минимально допустимый прирост ($P_{доп}$)
Выходная импульсная мощность	$P_{вых баз}$	$P_{вых тр}$	$(P_{вых тр} - P_{вых баз}) / P_{баз} \cdot 100$	20 %
Коэффициент шума	$F_{баз}$	$F_{тр}$	$(F_{баз} - F_{тр}) / F_{баз} \cdot 100$	15 %
Удельная мощность	$P_{баз}$	$P_{тр}$	$(P_{тр} - P_{баз}) / P_{баз} \cdot 100$	10 %
Время наработки до отказа	$T_{баз}$	$T_{тр}$	$(T_{тр} - T_{баз}) / T_{баз} \cdot 100$	20 %
Массогабаритные показатели	$G_{баз}$	$G_{тр}$	$(G_{баз} - G_{тр}) / G_{баз} \cdot 100$	10 %

Минимально допустимый прирост технического уровня ($P_{\text{доп}}$) целесообразно определить исходя из системы параметров для каждой группы изделий ЭКБ экспертным путем либо при проведении дополнительных исследований в нормативно-технических документах. Если фактический прирост по основным параметрам не достигает минимально допустимого значения, модернизация считается нецелесообразной.

Формула (5) для расчета прироста технического уровня имеет следующий вид:

$$P = \sum (P_i \cdot W_i), \quad (5)$$

где P – интегральный (обобщенный) прирост технического уровня изделия в результате модернизации (безразмерная величина или %);

P_i – относительный прирост i -го ключевого технического параметра, рассчитанный по типовой формуле из таблицы 3;

W_i – весовой коэффициент i -го параметра, отражающий его важность (значимость) для оценки технического уровня конкретного типа изделий ЭКБ. Весовые коэффициенты определяются в зависимости от группы (типа) изделий(я) ЭКБ, могут устанавливаться экспертным путем либо при проведении дополнительных исследований в нормативно-технических документах. Сумма всех весовых коэффициентов должна быть равна единице: $\sum W_i = 1$ [7].

Для параметров, рост которых является улучшением (выходная импульсная мощность, удельная мощность, наработка до отказа, массогабаритные показатели) вычисляется по формуле (6):

$$P_i = ((P_{\text{тр } i} - P_{\text{баз } i}) / P_{\text{баз } i}) \cdot 100\% . \quad (6)$$

Для параметров, снижение которых является улучшением (коэффициент шума (чувствительность)) вычисляется по формуле (7):

$$P_i = ((P_{\text{баз } i} - P_{\text{тр } i}) / P_{\text{баз } i}) \cdot 100\% , \quad (7)$$

где $P_{\text{тр } i}$ – требуемое (планируемое) значение i -го параметра после модернизации;

$P_{\text{баз } i}$ – базовое значение i -го параметра до модернизации.

2.2 Методика сопоставления приращения эффекта и дополнительных затрат

Экономическая целесообразность модернизации оценивается по критерию приведенных затрат в соответствии с формулой (8):

$$\Xi = \Xi_{\text{доп}} - \Xi_{\text{доп}} , \quad (8)$$

где $\Xi_{\text{доп}}$ – дополнительный экономический эффект от использования модернизированного изделия;

$\Xi_{\text{доп}}$ – дополнительные затраты на разработку и освоение модернизированного изделия.

Дополнительный экономический эффект рассчитывается по формуле (9):

$$\Xi_{\text{доп}} = (\Xi_{\text{и}} \cdot \Delta Q) + (C_{\text{мод}} - C_{\text{баз}}) \cdot Q , \quad (9)$$

где $\Xi_{\text{и}}$ – экономический эффект от улучшения технических характеристик одного изделия;

ΔQ – увеличение объема продаж вследствие улучшения характеристик;

$C_{\text{баз}}, C_{\text{мод}}$ – себестоимость базового и модернизированного изделий соответственно;

Q – годовой объем производства.

Дополнительные затраты включают:

– затраты на ОКР ($\Xi_{\text{ОКР}}$);

– затраты на подготовку производства ($\Xi_{\text{пп}}$);

– затраты на освоение ($\Xi_{\text{осв}}$),

и вычисляются по формуле (10):

$$\Xi_{\text{доп}} = \Xi_{\text{ОКР}} + \Xi_{\text{пп}} + \Xi_{\text{осв}} , \quad (10)$$

Модернизация считается целесообразной при $\Xi > 0$ и степени преимущества СП $\geq 0,5$.

Экономическая эффективность может рассчитываться не на один год, а на более продолжительный период с учетом срока окупаемости.

Для изделий ЭКБ военного назначения при модернизации и модификации ключевым критерием может являться не коммерческая эффективность, а обеспечение требуемых тактико-технических характеристик и надежности в условиях выполнения государственного оборонного заказа. В связи с этим экономический эффект от модернизации или модификации может быть отрицательным или вовсе не рассматриваться в качестве определяющего фактора при принятии решения.

2.3. Алгоритм принятия решения о целесообразности модернизации

Предлагаемый алгоритм оценки целесообразности модернизации включает следующие этапы:

1. Определение требуемых технических характеристик модернизированного изделия на основе анализа потребностей рынка и (или) требований заказчика (заявок потребителей).

2. Выбор модернизации как варианта преобразования изделия ЭКБ на основе качественных признаков в соответствии с таблицей 1.

3. Количественная оценка степени преимущества на основе критериев в соответствии с таблицей 2.

Оценка степени преимущества: расчет минимально необходимой степени преимущества для достижения заданных характеристик по формуле (1) с акцентом на конструкторскую ($W_{\text{к}} = 0,4$) и технологическую группы критериев ($W_{\text{т}} = 0,4$).

Проверка условия .

4. Определение критериев оценки прироста технического уровня и минимально допустимого прироста технического уровня ($P_{доп}$).

Расчет прироста технического уровня по основным параметрам и сравнение с минимально допустимыми значениями по формуле (5).

5. Экономическая оценка дополнительного эффекта и затрат.

Расчет экономической целесообразности модернизации по формуле (8).

6. Принятие решения:

– если $P \geq P_{доп}$ и $\Delta > 0$ и $СП \geq 0,5$ – модернизация целесообразна;

– если $P < P_{доп}$ или $\Delta \leq 0$ или $СП < 0,5$ – модернизация нецелесообразна, требуется рассмотреть разработку нового (оригинального) изделия.

3. Методика оценки целесообразности модификации изделий ЭКБ

Модификация изделий ЭКБ направлена на адаптацию базового изделия к новым условиям эксплуатации или расширение области применения (изменение специализации) без значительного изменения его технического уровня. Для изменения области применения изделие ЭКБ может различаться по конструктивному исполнению, радиационной стойкости, уровню качества и другим характеристикам. При сохранении значений основных параметров изделия ЭКБ (значений показателей целевого (функционального) назначения), установленных в технических условиях, такое изделие можно отнести к варианту конструктивного исполнения изделия (типоисполнению).

Однако может потребоваться внесение изменений в изделие ЭКБ с целью изменения значений показателей его целевого (функционального) назначения, при сохранении области применения, то такие изделия ЭКБ следует относить к типоминалам (типоразмерам) [2].

3.1. Критерии оценки прироста технического уровня

Для оценки возможности повышения технического уровня предлагается использовать критериальную систему, основанную на сравнении значений ключевых параметров базового и модификации. Примеры основных критериев представлены в таблице 2. При модификации допускается прирост технического уровня не выше значения минимально допустимого прироста технического уровня ($P_{доп}$), установленного для модернизированного изделия. Если фактический прирост по основным параметрам превышает минимально допустимые значения, модификация считается нецелесообразной. В этом случае целесообразно переходить к модернизации или разработке нового оригинального изделия ЭКБ.

Прирост технического уровня рассчитывается по формуле (5).

3.2. Методика сопоставления приращения эффекта и дополнительных затрат

Экономическая целесообразность модификации оценивается аналогично как при модернизации по критерию приведенных затрат в соответствии с формулой (8).

Дополнительный экономический эффект рассчитывается по формуле (9):

Дополнительные затраты при проведении модификации вычисляются по уточненной формуле относительно проведения модернизации, так как модификация проводится не путем проведения ОКР, а на основании соответствующего решения и программе квалификационных испытаний [3]. Дополнительные затраты при проведении модификации включают в себя:

– затраты на мероприятия, предусмотренные решением о порядке проведении модификации ($Z_{МДФ}$);

– затраты на подготовку производства ($Z_{пп}$);

– затраты на освоение ($Z_{осв}$),

и вычисляют по формуле (11):

$$Z_{доп} = Z_{МДФ} + Z_{пп} + Z_{осв} . \quad (11)$$

Модификация считается целесообразной при $\Delta > 0$ и степени преемственности $СП \geq 0,5$.

3.3. Алгоритм принятия решения о целесообразности модификации

Предлагаемый алгоритм оценки целесообразности модификации включает следующие этапы:

1. Определение требуемых технических характеристик модифицированного изделия на основе анализа потребностей рынка и требований заказчика (заявок потребителей) и необходимости изменения конструкции или технологии с учетом изменения области применения или специализации.

2. Выбор модификации как варианта преобразования изделия ЭКБ на основе качественных признаков в соответствии с таблицей 1.

3. Количественная оценка степени преемственности на основе критериев в соответствии с таблицей 2.

Расчет минимально необходимой степени преемственности для достижения заданных характеристик по формуле (1) с акцентом на эксплуатационную группу критериев ($W_3 = 0,5$).

Проверка условия $СП \geq 0,5$.

4. Определение критериев оценки прироста технического уровня и минимально допустимого прироста технического уровня ($P_{доп}$).

Расчет прироста технического уровня по основным параметрам и сравнение с минимально допустимыми значениями по формуле (5).

5. Экономическая оценка дополнительного эффекта и затрат.

Расчет экономической целесообразности модификации по формуле (8).

6. Принятие решения о целесообразности модификации изделия ЭКБ:

– если $СП \geq 0,5$ и $П \leq П_{\text{доп}}$ и $Э > 0$ – модификация целесообразна;

– если $СП < 0,5$ или $Э \leq 0$ – модификация нецелесообразна, требуется рассмотреть разработку нового

(оригинального) изделия.

4. Матрица принятия решений

На основе комплексного анализа предложено использовать матрицу принятия решений, представленную в таблице 4.

Таблица 4

Матрица принятия решений о целесообразности преобразования изделий ЭКБ

Степень преемственности (СП)	Прирост технического уровня (П)	Экономический эффект (Э)	Рекомендуемый вариант
$СП \geq 0,8$	$П \geq П_{\text{доп}}$	$Э > 0$	Модернизация
$0,5 \leq СП < 0,8$	$П \geq 1,5 \times П_{\text{доп}}$	$Э > 0$	Модернизация
$СП \geq 0,8$	$П \leq П_{\text{доп}}$	$Э > 0$	Модификация
$0,5 \leq СП < 0,8$	$П \leq 1,5 \times П_{\text{доп}}$	$Э > 0$	Модификация
$0,3 \leq СП < 0,5$	Любое П	$Э > 0$	Индивидуальная оценка
$СП < 0,3$	Любое П	$Э > 0$	Разработка нового изделия

5. Пример практического применения методики

5.1. Исходные данные

Исходное (базовое) изделие – приемо-передающий модуль: выходная импульсная мощность – 10 Вт, коэффициент шума – 3,0 дБ, удельная мощность – 0,1 Вт/г, наработка до отказа – 5000 ч, масса – 100 г, себестоимость – 70 тыс. руб., цена – 100 тыс. руб., годовой выпуск – 500 шт.

Требования к модернизированному приемо-передающему модулю: выходная импульсная мощность – 12 Вт (+ 20 %), коэффициент шума – 2,5 дБ (улучшение 16,7 %), удельная мощность – 0,13 Вт/г (+ 30 %), наработка до отказа – 6000 ч (+ 20 %), масса – 90 г (– 10 %).

Минимально допустимый прирост параметров: 20 %, 15 %, 10 %, 20 %, 10 % соответственно.

Весовые коэффициенты параметров (W): 0,3; 0,25; 0,2; 0,15; 0,1.

5.2. Оценка степени преемственности

Конструктивная преемственность: из 50 элементов новых – 8 →

$$K_k = (50 - 8) / 50 = 0,84.$$

Технологическая преемственность: сохранено 25 из 30 операций (Дт = 0,833); оборудование и базовая технология сохранены →

$$K_t = (0,833 + (1 + 1) / 2) / (1 + 1) = 0,9165.$$

Эксплуатационная преемственность: условия, режимы, интерфейсы сохранены → $K_g = 1$.

Интегральная преемственность (весовые коэффициенты групп: 0,4; 0,4; 0,2): $СП = 0,84 \cdot 0,4 + 0,9165 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,2 = 0,9 (> 0,5)$.

5.3. Прирост технического уровня

Относительное улучшение параметров:
выходная импульсная мощность:

$$(12 - 10) / 10 \cdot 100 \% = 20 \% (\geq 20 \%);$$

коэффициент шума:

$$(3,0 - 2,5) / 3,0 \cdot 100 \% = 16,7 \% (\geq 15 \%);$$

удельная мощность:

$$(0,13 - 0,1) / 0,1 \cdot 100 \% = 30 \% (\geq 10 \%);$$

время наработки до отказа:

$$(6000 - 5000) / 5000 \cdot 100 \% = 20 \% (\geq 20 \%);$$

$$\text{масса: } (100 - 90) / 100 \cdot 100 \% = 10 \% (\geq 10 \%).$$

Интегральный прирост:

$$П = 20 \cdot 0,3 + 16,7 \cdot 0,25 + 30 \cdot 0,2 + 20 \cdot 0,15 + 10 \cdot 0,1 = 20,2 \%$$

5.4. Экономическая оценка

Дополнительные затраты: ОКР по модернизации – 5 млн руб., подготовка производства – 2 млн руб., освоение в производстве – 1 млн руб.; всего $З_{\text{доп}} = 8$ млн руб.

После модернизации: себестоимость 75 тыс. руб., цена 120 тыс. руб.

Годовая прибыль:

$$\text{базовая} - (100 - 70) \cdot 500 = 15 \text{ млн руб.};$$

модернизированная –

$$(120 - 75) \cdot 500 = 22,5 \text{ млн руб.}$$

Дополнительный эффект:

$$Э_{\text{доп}} = 22,5 - 15 = 7,5 \text{ млн руб.}$$

Чистый эффект (за первый год):

$$Э = 7,5 - 8 = -0,5 \text{ млн руб. } (< 0).$$

Фактически окупаемость наступает во втором году, более точно – через 1 год 1 месяц. Несмотря на отрицательный эффект в первом году (– 0,5 млн руб.), за два года модернизация обеспечивает накопленный эффект 7 млн руб. При горизонте планирования 2 года и более проект становится целесообразным.

Вывод: $СП = 0,9 (> 0,5)$; все $П_i \geq П_{\text{доп } i}$; $Э > 0$ (при планировании более 1 года). Модернизация целесообразна.

Заключение

Предложенные в статье методики оценки эффективности и целесообразности выполнения модернизации и модификации изделий ЭКБ позволяют формализовать и согласовать разнонаправленные интересы участников жизненного цикла:

1. Объективно оценивать степень преемственности с исходным (базовым) изделием на количественной основе, что обеспечивает научную обоснованность принимаемых решений.

2. Осуществить выбор между проведением модернизации (или модификации) существующего исходного (базового) изделия и разработкой принципиально нового (оригинального) изделия ЭКБ.

3. Снижать риски при преобразовании изделий ЭКБ за счет системного подхода к оценке возможных последствий и эффективности принимаемых решений.

4. Сокращать сроки и затраты на постановку на производство новых типоминалов ЭКБ путем рационального использования существующих разработок и производственных мощностей.

5. Повышать качество и надежность выпускаемой продукции за счет сохранения проверенных конструктивных и технологических решений при их улучшении.

Практическая значимость разработанных методик будет подтверждена в ходе их апробации на предприятиях электронной промышленности, что докажет их применимость и эффективность в реальных производственных условиях. По предварительной оценке авторов, применение методик, позволит сократить сроки постановки на производство новых изделий на (25–30) % и снизить затраты на разработку на (15–20) %.

Направлениями дальнейших исследований являются:

– разработка автоматизированной системы поддержки принятия решений на основе предложенных методик;

– адаптация методик для различных подгрупп изделий ЭКБ (например, приемные твердотельные модули СВЧ, лампы бегущих волны и др.);

– исследование влияния фактора времени на эффективность преобразования изделий ЭКБ.

Реализация предложенных методик в практику разработки и производства изделий ЭКБ, базирующаяся на количественной оценке степени преемственности, будет способствовать повышению конкурентоспособности отечественной электронной компонентной базы и обеспечению технологической независимости страны.

Литература:

1. Шиллер В.А., Шпак В.В. «Независимость российской электроники от импорта – необходима и возможна» // Электроника НТБ, выпуск № 6, 2016.
2. Конча М.И., Болдырев М.А. «Варианты преобразования изделий электронной компонентной базы: модернизация, модификация и совершенствование» // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. – 2025. – № 18. – С. 32–36.
3. Афанасьев А.С., Конча М.И., Болдырев М.А. «Организация и порядок проведения модернизации, модификации и совершенствования изделий электронной компонентной базы» // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. – 2025. – № 20. – С. 18–22.
4. Рекомендации Р 50-601-12-89 «Система разработки и постановки продукции на производство. Модернизация, модификация и совершенствование выпускаемой продукции».
5. ГОСТ РВ 0015–207–2018 «Система разработки и постановки на производство военной техники. Порядок проведения работ по стандартизации и унификации в процессе разработки и постановки на производство изделий. Основные положения».
6. Андрияшевская О.В., Лопаткин К.С., Милосердов С.С. «Методика оценки технического уровня приемо-передающих модулей Х-диапазона» // Вестник воздушно-космической обороны. – 2025. – № 1 (45). – С. 42–48.
7. РМ В 11.20.0014-86 «Система управления качеством продукции. Оценка технического уровня изделий электронной техники на этапах разработки».

УДК 025.3:623:354.82

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СИСТЕМА КАТАЛОГИЗАЦИИ ПРОДУКЦИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ЛИЦЕНЗИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СФЕРЕ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ**FEDERAL SYSTEM OF PRODUCT CATALOGING AS A TOOL FOR INFORMATIONAL SUPPORT OF LICENSING ACTIVITIES IN THE SPHERE OF ARMAMENT AND MILITARY EQUIPMENT**

Филатов И.Н., д. т. н., доцент, главный научный сотрудник, АНО «Центр Квалитет», filin.05@mail.ru;
Звягинцев С.А., к. э. н., доцент кафедры Международного военно-технического сотрудничества и высоких технологий, МГИМО МИД России, zvyagintcev_serg@mail.ru

Filatov I.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of the Autonomous Non-Profit Organization “Quality Center”, filin.05@mail.ru; **Zvyagintsev S.A.**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of International Military-Technical Cooperation and High Technologies at MGIMO University, zvyagintcev_serg@mail.ru

Аннотация: в статье рассматривается объективная возможность и практическая целесообразность использования инструментов федеральной системы каталогизации продукции для федеральных нужд при решении задач лицензирования деятельности в области вооружения и военной техники. Анализируется нормативно-правовая база двух государственных систем, показывается их единство на уровне классификации предметов снабжения и формализованного состава данных. Детально разбираются конкретные механизмы, позволяющие заместить часть проверочных процедур опорой на верифицированные каталожные сведения. Авторы приходят к выводу, что интеграция этих систем не только снижает административную нагрузку на соискателей лицензий и лицензирующий орган, но и существенно повышает достоверность лицензионных оценок, делает сам процесс более прозрачным и предсказуемым.

Annotation: this article examines the feasibility and practical feasibility of using the tools of the federal product cataloging system for federal needs in resolving licensing issues related to weapons and military equipment. The regulatory frameworks of the two state systems are analyzed, demonstrating their unification at the level of supply item classification and formalized data composition. Specific mechanisms that allow for the replacement of some verification procedures with verified catalog data are examined in detail. The authors conclude that integrating these systems not only reduces the administrative burden on license applicants and the licensing authority but also significantly improves the reliability of licensing assessments, making the process itself more transparent and predictable.

Ключевые слова: лицензирование вооружения и военной техники, каталогизация продукции, федеральный каталог продукции, предмет снабжения, лицензионные требования, единый кодификатор предметов снабжения, государственный оборонный заказ.

Keywords: licensing of armament and military equipment, product cataloging, federal catalog of products, item of supply, licensing requirements, unified codifier of items of supply, state defense order.

Научная специальность: 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Введение

Лицензирование разработки, производства, испытания, установки, монтажа, технического обслуживания, ремонта, утилизации и реализации вооружения и военной техники (далее – ВВТ) – один из наиболее строгих и ресурсоемких видов государственного контроля. Его основная цель – недопущение к работам, способным нанести ущерб обороноспособности государства, организаций, не обладающих достаточной компетенцией или производственной базой. Правила лицензирования, установленные постановлением Правительства Российской Федерации от 21.12.2021 № 2386 [1], требуют от соискателя подтвердить наличие технической документации, испытательного



Филатов И.Н.



Звягинцев С.А.

и технологического оборудования, квалифицированных специалистов, а также функционирующей системы менеджмента качества.

Долгое время сбор и проверка этой информации осуществлялись в традиционной форме – путём направления запросов, истребования копий документов и последующей выездной экспертизы. Такой подход не только создаёт значительную бюрократическую нагрузку, но и оставляет широкое поле для субъективных трактовок и ошибок. Между тем, начиная с 2024 года в Российской Федерации активно развивается обновлённая федеральная система каталогизации продукции для федеральных нужд (далее – ФСКП), которая имеет с лицензированием ВВТ значительно больше точек соприкосновения, чем это может показаться на первый взгляд.

Основная часть

Речь идёт о федеральном каталоге продукции (далее – ФКП), регламентированном Федеральным законом от 29.12.2012 № 275-ФЗ [2] и постановлением Правительства Российской Федерации от 27.04.2024 № 549 [3]. ФКП представляет собой единую, структурированную по классам Единого кодификатора предметов снабжения для федеральных государственных нужд (ЕК 001-2023) информационную базу, в которой для каждого зарегистрированного предмета снабжения (далее – ПС) фиксируются не только наименование и обозначение, но и разработчик, изготовитель и поставщик, а также документ, по которому осуществляется поставка [4], и иные сведения, по сути дублирующие значительную часть лицензионно значимой информации. Цель настоящей статьи – проанализировать, может ли эта уже созданная информационная инфраструктура быть эффективно использована для упрощения процедур лицензирования, и если да — то какие конкретно механизмы для этого следует применить.

Первым и самым сильным аргументом в пользу интеграции является то, что обе системы пользуются одним и тем же классификационным языком. Приложение № 1 к Положению о лицензировании, утверждённому постановлением Правительства Российской Федерации от 21.12.2021 № 2386 [1], содержит структурированный перечень ВВТ, лицензирование которых осуществляется Минпромторгом России, и привязывает каждую позицию напрямую к конкретному классу ЕК 001. Точно так же, разделы ФКП формируются и ведутся строго по классам этого же классификатора (п. 25 Правил создания, формирования и функционирования ФСКП, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 27.04.2024 № 549 [3]; ГОСТ РВ 0044-001-2020) [5]. Таким образом, продукция, заявляемая на лицензирование, и продукция, уже зарегистрированная в ФКП, изначально разнесены по одинаковым «ячейкам», а значит, может быть автоматически сопоставлена без каких-либо дополнительных словарно-классификационных преобразований [6].

Далее, подавляющее большинство организаций, претендующих на получение лицензии в сфере ВВТ, уже являются участниками работ по каталогизации, поскольку их продукция как правило поставляется в рамках государственного оборонного заказа (далее – ГОЗ). Согласно ст. 7 и 8 Федерального закона от 29.12.2012 № 275-ФЗ [2], головные исполнители и исполнители ГОЗ обязаны проводить работы по включению информации о товарах, подлежащих каталогизации, в ФКП. Это означает, что сведения о разработчике, изготовителе, поставщике, обозначении и, что особенно важно, о держателе подлинника конструкторской и нормативно-технической документации на конкретное изделие уже внесены в систему каталогизации и верифицированы центром каталогизации государственного заказчика.

Таким образом, в нормативном поле создана ситуация, при которой для подтверждения целого ряда лицензионных требований соискатель по сути предъявляет ту же информацию, которая уже зафиксирована в ФКП [7]. В связи с этим возникает вопрос не столько о том, можно ли использовать каталожные данные, сколько о том, почему они до сих пор не задействованы в полной мере.

Практические инструменты: что может дать федеральный каталог продукции на разных этапах лицензирования

Рассмотрим детальнее, каким образом формализованные сведения, накопленные в разделах ФКП, способны обеспечить прямую информационную поддержку наиболее трудоёмких процедур лицензирования.

Идентификация номенклатуры и классификация продукции

Одной из первых административных операций при подаче заявления о предоставлении лицензии является заполнение формы «Номенклатура ВВТ» (Форма №1 Приложения № 10 к Административному регламенту, утверждённому приказом Минпромторга России № 2116) [8]. Соискатель самостоятельно относит заявляемые образцы к определённому классу ЕК 001 и приводит их наименования. Практика показывает, что именно на этом этапе возникает значительное количество ошибок: один и тот же функциональный образец может быть отнесён к разным классам в зависимости от трактовок, а единообразных наименований без опоры на утверждённые справочники достичь трудно.

ФКП решает эту проблему через механизм наименований однородных предметов снабжения (далее – НОПС), ранее называвшихся утвержденными наименованиями, и стандартных форматов описания. Если продукция уже зарегистрирована в ФКП, то её класс однозначно определён, а наименование унифицировано [9]. Специалист лицензирующего органа, имея доступ к каталогу, может мгновенно сверить заяв-

ленную номенклатуру с уже каталогизированной. Если заявляемый образец отсутствует в ФКП, но его характеристики и функциональное назначение совпадают с описанием некоего НОПС (что также может быть проверено по определению НОПС, которое, согласно ГОСТ РВ 0044-020-2020 [10], в обязательном порядке заносится в перечень утверждённых наименований и будет включаться в разрабатываемый в настоящее время Справочник НОПС), это становится первичным фильтром корректности классификации. Исключается ситуация, когда реально выпускаемое изделие пытаются задекларировать как продукцию другого класса, либо напротив, когда неочевидная классификационная ошибка приводит к затяжному обмену запросами между соискателем и лицензирующим органом.

Подтверждение технической документации и конструкторской базы

Пункт 5 Положения о лицензировании [1] требует, чтобы у соискателя имелась техническая документация, необходимая для выполнения заявленных работ [11]. Традиционно это подтверждается предоставлением копий технических условий (далее – ТУ), конструкторской документации и иных документов, что влечёт за собой обработку больших массивов бумажных сведений. Между тем, каталожное описание предмета снабжения (далее – КО ПС), разработанное в соответствии с ГОСТ РВ 0044-007-2025 [12], содержит в себе регистрационные характеристики: наименование документа, содержащего сведения об обозначении ПС (ТУ, ГОСТ или иного нормативного документа). При этом, у большинства уже включённых в ФКП каталожных описаний, также имеются сведения об организации – держателе подлинника ТУ. Поскольку КО ПС в обязательном порядке проходит экспертизу в центре каталогизации государственного заказчика, эти сведения являются верифицируемыми.

Таким образом, для изделия, уже включённого в ФКП, как дополнительный способ подтверждения факта наличия у заявителя соответствующей технической документации может быть использована соответствующая выписка из ФКП. Это не отменяет необходимости держать документацию в актуальном состоянии и запрашивать её копии на этапе документарной проверки, но предоставляет лицензирующему органу дополнительный источник информации, а также переносит акцент с формального контроля «наличия папок» на содержательную проверку, которая может быть реализована в ходе выездной оценки.

Верификация разработчиков, изготовителей, и производственной кооперации

Лицензионное требование, установленное подпунктом «в» пункта 5 Положения [1], предполагает наличие в штате специалистов, обеспечивающих выполнение заявленных работ. Наличие в КО ПС (блок регистрационных характеристик) сведений об

организации – разработчике (изготовителе, поставщике) конкретного предмета снабжения позволяет лицензирующему органу, обратившись к каталогу, оперативно проверить, действительно ли соискатель лицензии является тем лицом, которое значится в его документах, либо запросить пояснения, если заявляемая организация не совпадает с разработчиком, указанным в ФКП. Это особенно актуально при лицензировании деятельности по разработке ВВТ, где важно подтвердить наличие у предприятия собственной конструкторской школы и прав на конструкторскую документацию.

Аналогичным образом, сведения об изготовителях и поставщиках, зафиксированные в КО ПС, дают предварительное понимание о структуре производственной кооперации [13, 14]. Понятно, что они не заменяют полноценный анализ производственной базы, но на этапе первичной документарной оценки позволяют отсеять заведомо некорректные заявки, когда, например, организация, являющаяся сугубо торговым посредником, пытается получить лицензию на производство, не имея зарегистрированной компетенции изготовителя в федеральной системе каталогизации продукции.

Организационно-экономический эффект от интеграции

Главный аргумент в пользу тесного увязывания лицензионных процедур с данными каталогизации — это ощутимое сокращение временных и кадровых затрат всех участников процесса. Соискатель лицензии освобождается от необходимости избыточного копирования документов, которые уже были однажды направлены и верифицированы в рамках проведения работ по каталогизации. Лицензирующий орган, со своей стороны, получает инструмент для быстрой проверки ключевых сведений в машиночитаемом формате, что особенно важно в условиях постоянно растущего объёма администрируемых заявок.

Принципиально важно, что ФКП, согласно п. 3 ст. 6.1-1 Федерального закона № 275-ФЗ [2] и п. 9 Правил создания, формирования и функционирования ФСКП, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 27.04.2024 № 549 [3], реализуется в среде информационных технологий каталогизации, которая обеспечивает разнесение потоков закрытой, открытой и конфиденциальной информации. Это позволяет безопасно организовать информационный обмен таким образом, чтобы любой авторизованный пользователь, включая должностных лиц лицензирующего органа, мог получать требуемые сведения в разрешённом объёме без риска утечки данных, составляющих государственную тайну.

Внедрение подобного механизма может являться практической реализацией принципа однократности ввода информации, который пронизывает всю идеологию создания федеральной системы каталогиза-

ции продукции. Однажды внесённые и проверенные центром каталогизации государственного заказчика данные о продукции и предприятии должны служить легитимным источником для всех видов государственного контроля, где это допустимо. Для лицензирования это означает не ослабление контроля, а его качественное усиление за счёт смещения фокуса с формальной документарной проверки на более глубокую оценку реальных производственных и технологических возможностей соискателя.

Заключение

Таким образом, проведённый анализ показывает, что федеральный каталог продукции для федеральных нужд обладает объективной информационной избыточностью по отношению к задачам лицензирования деятельности в сфере ВВТ. Единство классификационной основы, глубокая формализация данных в каталожных описаниях и номенклатурных перечнях предметов снабжения, а также обязательность регистрации в системе каталогизации для всех участников ГОЗ создают прочный нормативный и технологический фундамент для интеграции. Конкретные механизмы такой интеграции лежат в плоскости автоматизированного представления верифицированных каталожных сведений для официальных подтверждений соответствия по таким лицензионным требованиям, как наличие технической документации, идентификация продукции и её разработчиков, а также общая оценка технологической дисциплины предприятия через его вовлеченность в процессы каталогизации.

Организационно это потребует доработки межведомственных регламентов и, возможно, издания ряда подзаконных актов, но даст немедленный и ощутимый эффект. Учитывая то, что Минпромторг России, в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 27.04.2024 № 549 [3], определен федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по нормативно-правовому регулированию и координации работ по созданию, формированию, функционированию и развитию ФСКП, а в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 21.12.2021 № 2386 [1] является контрольным (надзорным) органом, уполномоченным на осуществление лицензионного контроля, такая доработка документов не должна вызвать существенных затруднений. При этом полученный эффект выразится в сокращении сроков рассмотрения заявок, снижении бюрократической нагрузки на промышленность и переводе деятельности по лицензированию на качественно иной, основанный на достоверных данных, уровень. В конечном счёте, выигрывают все стороны, а главное – усиливается общая прозрачность и надёжность системы допуска организаций к стратегически значимым работам в области обороны и безопасности государства.

Литература

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 21.12.2021 № 2386 «Об утверждении Положения о лицензировании разработки, производства, испытания, установки, монтажа, технического обслуживания, ремонта, утилизации и реализации вооружения и военной техники, разработки, производства, испытания, хранения, реализации и утилизации боеприпасов...» // Официальный интернет-портал правовой информации. – 2021.
2. Федеральный закон от 29.12.2012 № 275-ФЗ «О государственном оборонном заказе» // Собрание законодательства РФ. – 2012. – № 53 (ч. 1). – Ст. 7600.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 27.04.2024 № 549 «О федеральной системе каталогизации продукции для федеральных нужд» // Официальный интернет-портал правовой информации. – 2024.
4. Филатов И.Н., Пьянков А.А., Звягинцев С.А. Каталогизация, унификация и стандартизация оборонной продукции в едином контуре управления номенклатурой, поставляемой по государственному оборонному заказу. Электронный научный журнал «Вооружение и экономика», 2024. №3(69). – С. 20-27.
5. ГОСТ РВ 0044-001-2020. «Каталогизация продукции для федеральных государственных нужд. Каталогизация предметов снабжения Вооруженных Сил Российской Федерации. Порядок формирования и ведения каталога предметов снабжения».
6. Колядин А.И., Чупринов А.А. «Информационное обеспечение задач синтеза РЭА в радиоэлектронной отрасли» // Научно-технический журнал «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения» 1(9) 2023. С. 37-40.
7. Невмывака А.Н., Подъяпольский С.Б., Булгаков О.Ю. «Об особенностях технического регулирования в области электронной продукции» // Научнотехнический журнал «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения» 4(8) 2022. С. 33- 37.
8. Приказ Минпромторга России от 24.06.2016 № 2116 «Об утверждении Административного регламента предоставления государственной услуги по лицензированию деятельности в сфере вооружения и военной техники».
9. Моисеев В.В., Пьянков А.А., Филатов И.Н., Звягинцев С.А. и др. «Автоматизированная обработка каталожной информации» / под общ. ред. Моисеева В.В. – М.: Наш мир, 2024. – 451 с.
10. ГОСТ РВ 0044-020-2020 «Каталогизация продукции для федеральных государственных нужд. Каталогизация предметов снабжения Вооруженных Сил Российской Федерации. Перечень

- утвержденных наименований предметов снабжения. Порядок формирования, ведения и применения».
11. Фенюк Ю.М., Чужова А.С. «Совершенствование процедуры лицензирования предприятий радиоэлектронной промышленности при выполнении ими производственной деятельности» // Научно-технический журнал «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения» 2(6) 2022. С. 32-34.
 12. ГОСТ РВ 0044-007-2025 «Каталогизация продукции для федеральных нужд. Каталогные описания. Порядок разработки и ведения».
 13. Моисеев В.В., Пьянков А.А., Филатов И.Н. и др. «Организационные и технологические аспекты формирования и использования разделов каталога промышленной продукции» / под общ. ред. Моисеева В.В. – М.: Наш мир, 2024. – 415 с.
 14. Гладышевский В.Л., Филатов И.Н., Пьянков А.А. «Федеральная система каталогизации как основа проведения работ по межвидовой унификации и стандартизации вооружения и военной техники» // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. – 2024. – №1. – С. 22-28.

УДК 005.42

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
В ЧАСТИ РАБОТ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРИНЯТИЮ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ВОЕННЫХ СТАНДАРТОВ
В РОССИЙСКОМ ИНСТИТУТЕ СТАНДАРТИЗАЦИИ**

**THEORETICAL AND METHODOLOGICAL ASPECTS OF DEVELOPING A PROCESS MANAGEMENT MODEL FOR
PREPARING FOR THE ADOPTION OF STATE MILITARY STANDARDS AT THE RUSSIAN INSTITUTE
OF STANDARDIZATION**

Кузьминский И.В., директор департамента, Российский институт стандартизации,
8 (800) 101-92-72, доб. 3226, i.v.kuzminskiy@rosoboronstandart.ru

Kuzminsky I.V., Director of the Department, Russian Institute of Standardization,
8 (800) 101-92-72, ext. 3226, i.v.kuzminskiy@rosoboronstandart.ru

Аннотация: в статье поднимаются актуальные вопросы по особенностям управления процессом в части работ по подготовке к принятию государственных военных стандартов.

Рассмотрены вопросы об особенностях применении основного инструмента менеджмента качества — процессного подхода для работ по подготовке к принятию государственных военных стандартов, а также вопросы определения компетенции специалиста (определены показатели, позволяющие количественно описывать относительные характеристики компетенций специалиста) и показателей, позволяющих количественно описывать трудоемкости работ по стандартизации.

Annotation: the article raises relevant issues on the specifics of process management in terms of work on preparation for adoption of state military standards.

Considered issues on the specifics of application of the main tool of quality management - the process approach for work on preparation for adoption of state military standards, as well as issues of definition of the specialist's competence (defined indicators that allow to quantify the relative characteristics of the specialist's competencies) and indicators that allow to quantify the labor intensity of standardization works.

Ключевые слова: государственный военный стандарт, система менеджмента качества, управление процессом, качество работ.

Keywords: state military standard, quality management system, process management, quality.

Научная специальность: 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Введение

Система менеджмента качества — это набор специальных практик, внутренних политик, процедур, моделей и методик для работы организации, целью которых является удовлетворение заказчика разрабатываемой продукцией и услугами высокого качества на постоянной основе.

При разработке и внедрении процедур, моделей и методик необходимых для функционирования системы менеджмента качества необходим учет особенностей разрабатываемой конкретной продукции (услуг) и особенностей функционирования конкретного производства в организации.

В Российском институте стандартизации разрабо-

тана и эффективно функционирует модель управления процессом в части работ по подготовке к принятию государственных военных стандартов.

В данной модели количественно описаны компетенции специалиста (определены показатели, позволяющие количественно описывать относительные характеристики компетенций специалиста), а также определены показатели, позволяющие количественно описывать трудоемкость работ.

Основная часть

В Российском институте стандартизации одним из основных этапов в системном управлении качеством работ (в том числе и работ, направленных на повышение качества принимаемых государственных военных стандартов) является получение фактических и прогнозируемых данных по результатам идентификации, расчета, оценки влияния и последующего анализа факторов, влияющих на качество работ (в том числе и работ, направленных на повышение качества принимаемых государственных военных стандартов).

Поэтому в Российском институте стандартизации на заседании по оценке качества было принято решение о разработке процедуры работ по принятию государственных военных стандартов, в том числе по оптимальному распределению работ по принятию государственных военных стандартов.

В целях исполнения данного решения было принято решение о повышении эффективности деятельности специалистов Российского института стандартизации (повышение производительности труда специалистов) посредством разработки и внедрения модели управления процессом в части работ по принятию государственных военных стандартов на основе инструментов менеджмента качества.

При этом, особое внимание уделено стадиям, на которых управление факторами, влияющими на качество работ, направленных на повышение качества принимаемых государственных военных стандартов, обеспечивает полное соответствие требованиям заказчика, а также соответствия принимаемых государственных военных стандартов современному уровню развития науки и техники, оптимальным нормам и правилам, предназначенных для использования при разработке, производстве, эксплуатации, модернизации и утилизации вооружения, военной и специальной техники.

В Российском институте стандартизации процесс принятия государственных военных стандартов управляем, т. е. могут осуществляться различными способами, в зависимости от принятой стратегии его реализации.

В советские времена, работы по принятию государственных военных стандартов осуществлял Всесоюзный научно-исследовательский институт стандартизации общей техники (ВНИИСОТ) Комитета



Кузьминский И.В.

стандартов мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, который образован в 1968 г. для разработки общетехнических стандартов на оборонную продукцию, научных и методических основ военной стандартизации, а также программ государственной стандартизации и межотраслевой унификации продукции, поступающей для производства и комплектования военной техники и снабжения войск, штат которого насчитывал около 1000 специалистов.

В ВНИИСОТе стратегия реализации процесса принятия государственных военных стандартов – обеспечение работ по принятию государственных военных стандартов за счет людских ресурсов. Один государственный военный стандарт сопровождали два-три эксперта.

Следует отметить, что штат отдела по подготовке к принятию ГОСТ РВ Российского института стандартизации составляет 9 экспертов.

СПРАВОЧНО:

Российский институт стандартизации:

Отдел по подготовке к принятию ГОСТ РВ в 2019 – 2022 гг. – 12 экспертов.

Количество принятых государственных военных стандартов в 2019 - 2022 гг. – 358.

Отдел по подготовке к принятию ГОСТ РВ в 2023-2024 гг. – 8 экспертов.

Количество принятых государственных военных стандартов в 2023-2024 гг. – 203.

Для Российского института стандартизации стратегия реализации процесса принятия государственных военных стандартов – обеспечение работ по принятию государственных военных стандартов за счет людских ресурсов неприемлема!

Поэтому в Российском институте стандартизации принято решение о разработке процедуры по оптимальному распределению работ по принятию государственных военных стандартов.

Другими словами, принята стратегия реализации процесса принятия государственных военных стандартов – использование методов менеджмента качества в целях повышения производительности труда экспертов.

При этом, особое внимание уделено стадиям работ, на которых управление факторами, влияющи-

ми на качество работ, направленных на повышение качества принимаемых государственных военных стандартов, помимо работ по подготовке к принятию государственного военного стандарта (в зоне компетенции уполномоченных институтов Росстандарта).

Опыт работы автора в организациях, определенных Росстандартом как уполномоченные организации (принимающие государственные военные стандарты), а также анализ системы менеджмента качества данных организаций, показал, что, в части работ по принятию государственных военных стандартов, отдельная процедура (отдельный процесс) в данных организациях отсутствовала, а распределение документов (проектов государственных военных стандартов на принятие) по экспертам проводилось по количественному принципу, т. е. документы равномерно распределялись по экспертам (вопросы определения трудоемкости работ в зависимости от вида принимаемых государственных военных стандартов не рассматривались).

Вопрос о трудоемкости работ в зависимости от вида принимаемых государственных военных стандартов представляет особый интерес для исполнителя работ для целей повышения производительности труда экспертов.

В работах по подготовке к принятию и принятию государственных военных стандартов перед распределением документов по экспертам, необходимо, в первую очередь, провести оценку трудоемкости создания каждого конкретного документа («сложности» документа). Действительно, время, требуемое на экспертизу и подготовку к принятию, скажем, государственных военных стандартов на «общие технические условия», несоизмеримо больше времени, затрачиваемого на разработку и подготовку к принятию, к примеру, государственных военных стандартов на «маркировку».

Во вторую очередь, необходимо адекватно оценить возможности эксперта. Воспользовавшись уже приведенным примером, отметим, что если работы по принятию государственных военных стандартов на «маркировку» может выполнить специалист сравнительно невысокой квалификации, то работы по принятию государственных военных стандартов на «общие технические условия» требуют глубокого знания не только предметной области, но и достаточно высокой квалификации в смежных областях – системе разработки и постановки продукции на производство, единой системе технологической документации, единой системе конструкторской документации, метрологии и др.

В целях оценки относительной трудоемкости работ по подготовке к принятию государственных военных стандартов (определения «сложности» документа), был проведен анализ нормативно-правовой базы по стандартизации оборонной продукции.

Проведенный анализ показал, что для решения данной задачи, целесообразно использовать подходы, регламентированные рекомендациями [1].

Следует отметить, что в соответствии с рекомендациями [1], не рассматривается такой важный показатель сложности, как гриф распространения документа.

Работать с документами, содержащими гостайну, сложнее из-за законодательных требований и технических сложностей.

Защита информации, составляющей государственную тайну, строго регламентирована. Основные правила работы с такими документами закреплены в федеральных законах и подзаконных актах, например:

- Федеральный закон [2], который устанавливает общие требования к защите конфиденциальных данных;

- Закон Российской Федерации [3], который регламентирует порядок работы с документами, содержащими государственную тайну, и предусматривает использование специальных средств защиты информации.

- Приказ [4], который утверждает требования о защите информации в государственных информационных системах с использованием шифровальных (криптографических) средств.

Для работы с такими документами требуются автоматизированные рабочие места, которые соответствуют требованиям безопасности.

Ограничение подключения к внешним сетям. Поэтому использование автоматизированных систем Российского института стандартизации, например, для проверки ссылочных стандартов, проверки взаимосвязки разрабатываемого документа с другими документами и др. не представляется возможным.

Еще одна сложность – обучение сотрудников. Работники, которые имеют доступ к документам, должны быть обучены правилам обработки секретных данных, понимать процессы маркировки, кодирования и безопасной передачи документов.

На основе экспертной оценки в Российском институте стандартизации были определены показатели сложности в зависимости от грифа распространения документа.

Процедура принятия государственного военного стандарта регламентируется подразделами 4.7 – 4.9 стандарта [5].

Проведенный анализ основополагающих государственных военных стандартов по планированию работ по стандартизации оборонной продукции и актуализации документов по стандартизации оборонной продукции показал, что стадиями работ, на которых управление факторами, влияющими на качество работ, направленных на повышение качества принимаемых государственных военных стандартов, помимо работ по подготовке к принятию государственного

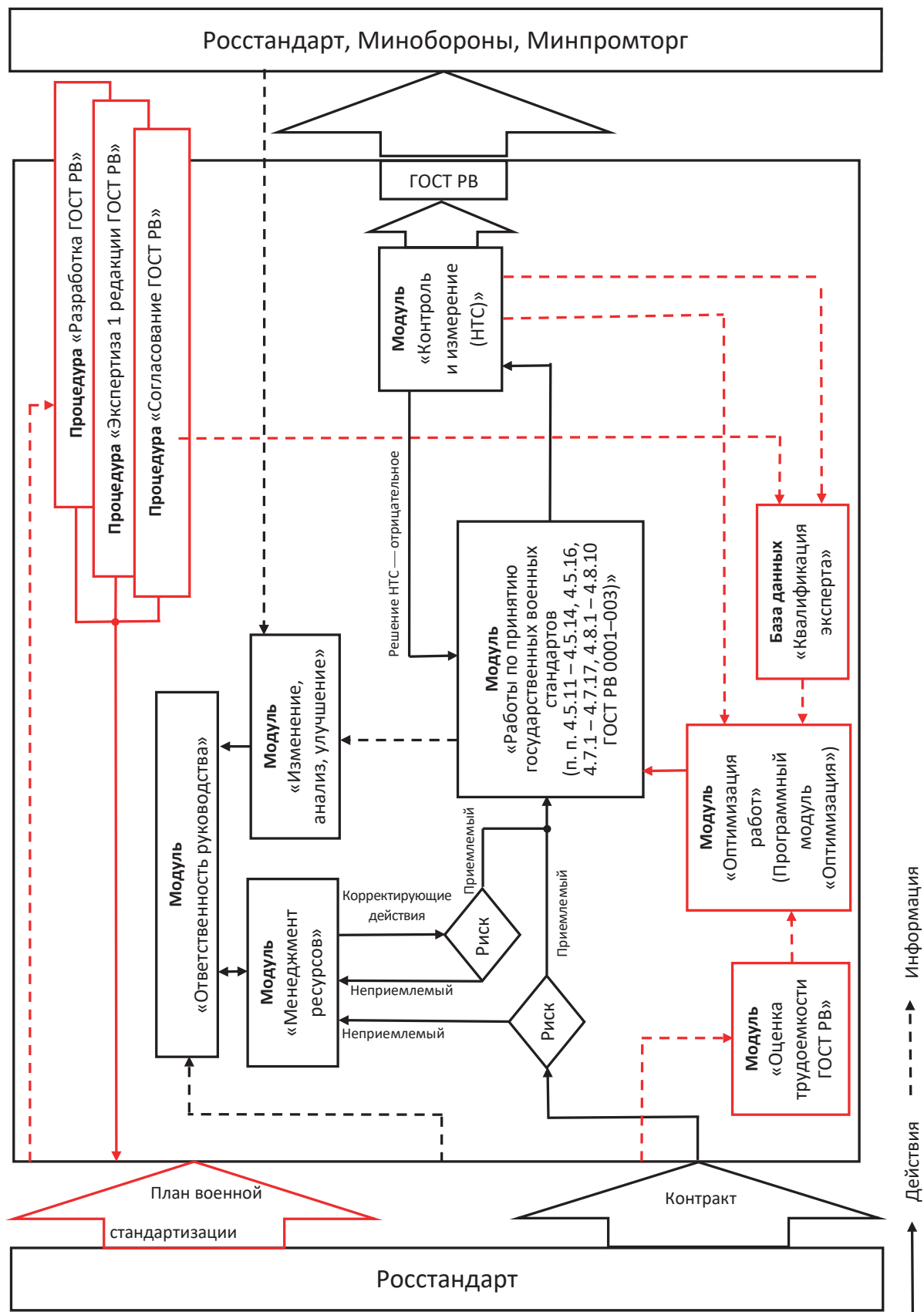


Рис. 1. Модель управления процессом в части работ по принятию государственных военных стандартов в Российском институте стандартизации

военного стандарта (в зоне компетенции Российского института стандартизации), также являются такие работы:

- разработка государственного военного стандарта (например, ФГУП «ВНИИНМАШ», определенное Росстандартом как уполномоченный (принимающий государственные военные стандарты) институт, являлся разработчиком государственных военных стандартов);
- экспертиза и разработка отзыва на проект первой редакции государственного военного стандарта;
- согласование проекта окончательной редакции государственного военного стандарта.

Поэтому, все данные работы должны быть учтены в процессе «Подготовка к принятию государственно-военного стандарта».

Следует заметить, что в целях повышения качества разрабатываемых государственных военных стандартов в Российском институте стандартизации в процедуру «Разработка второй редакции проекта стандарта и направление ее на согласование, экспертизу, нормоконтроль, предварительное издательское редактирование» внесены изменения.

Так в соответствии со стандартом [5] при одновременной рассылке разработчиком на согласование, на предварительное издательское редактирование и на экспертизу проект второй редакции государственного военного стандарта может привести к снижению качества государственного военного стандарта.

В соответствии с п. 4.5.16 стандарта [5] разработчик имеет право принять все замечания (даже существенные) подготовительной и экспертной организации, доработать по замечаниям окончательную редакцию и не отправлять проект стандарта на повторное согласование с организациями в соответствии с техническим заданием на стандарт.

В итоге согласующие организации проводят экспертизу и согласование проекта государственного военного стандарта, в котором еще не внесены существенные изменения.

Поэтому в Российском институте стандартизации рассылка на «Согласование» происходит после предварительного издательского редактирования и экспертизы проекта второй редакции государственного военного стандарта.

На основе базовых принципах менеджмента качества разработана модель управления процессом в части работ по принятию государственных военных стандартов в Российском институте стандартизации (см. рис. 1), которая учитывает данные по жизненному циклу государственного военного стандарта, а также трудоемкость государственного военного стандарта и квалификацию эксперта, что позволяет принимать решения по управлению «интеллектуальными ресурсами» (красным цветом выделены новые элементы (модули) которые не входят в стандартную модель управления процессом в части работ по стан-

дартизации оборонной продукции в Российском институте стандартизации).

При этом, в данной модели количественно описаны компетенции специалиста (определены показатели, позволяющие количественно описывать относительные характеристики компетенций специалиста), а также определены показатели, позволяющие количественно описывать трудоемкости работ по подготовке к принятию государственных военных стандартов.

Заключение

1. Обобщены наиболее значимые положения основополагающих военных стандартов, влияющие на качество работ по принятию государственных военных стандартов.

2. Даны предложения по корректировке отдельных положений стандарта [5] на основе практики применения стандарта в Российском институте стандартизации.

3. На основе базовых принципах менеджмента качества разработана модель управления процессом в части работ по принятию государственных военных стандартов, при этом, в данной модели количественно описаны компетенции специалиста (определены показатели, позволяющие количественно описывать относительные характеристики компетенций специалиста), а также определены показатели, позволяющие количественно описывать трудоемкости работ по подготовке к принятию государственных военных стандартов.

4. Материалы данной статьи могут быть полезны работникам организаций оборонно-промышленного комплекса при разработке / актуализации документов по стандартизации оборонной продукции.

Литература

1. РВС 0098-002-2024.
2. Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».
3. Закон Российской Федерации от 21 июля 1993 года № 5485-1 «О государственной тайне».
4. Приказ ФСБ России от 18.03.2025 № 117 «Об утверждении требований о защите информации, содержащейся в государственных информационных системах, иных информационных системах государственных органов, государственных унитарных предприятий, государственных учреждений, с использованием шифровальных (криптографических) средств».
5. ГОСТ РВ 0001-003-2024.

УДК 006.3/.8

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПОДХОДЫ К СЕРТИФИКАЦИИ
ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

INTERNATIONAL APPROACHES TO CERTIFICATION
OF ELECTRONIC EQUIPMENT

Подъяпольский С.Б., к. т. н., консультант по научной работе ФГБУ «ВНИИР»,
+7 (495) 586-17-21, доб. 1358, psb@vniir-m.ru,

Булгаков О.Ю. к. воен. н., заместитель директора центра стандартизации и испытаний ФГБУ «ВНИИР»,
+7 (985) 725-73-68;

Подъяпольский Н.С., заместитель руководителя сектора сертификации АО «Авиаприбор»,
+7 (495) 155-15-65, доб. 122, nikolaysp89@mail.ru

Podyapolsky S.B., Candidate of Technical Sciences, consultant on scientific work FGBI "VNIIR",
+7 (495) 586-17-21, ext. 1358, psb@vniir-m.ru,

Bulgakov O.Yu., Candidate of Military Sciences, Deputy Director of the Center for Standardization
and Testing FGBI "VNIIR", +7 985-725-73-68,

Podyapolsky N.S., Deputy Head of the Certification Sector, JSC «Aviapribor»,
+7 (495) 155-15-65, ext. 122, nikolaysp89@mail.ru.

Аннотация: основой любых радиоэлектронных устройств, от гражданского до специального назначения, является электронная компонентная база. Ее качество, надежность и стабильность определяют функциональность, безопасность и конкурентоспособность аппаратуры.

В данной статье рассматриваются принципы и подходы международных систем подтверждения качества изделий электронной компонентной базы, материалов и модулей на протяжении их жизненного цикла, определяемые возможностями производителя и стабильностью качества продукции, при сертификации по установленным требованиям, обеспечивающие их международное признание.

Annotation: the foundation of all radio-electronic equipment, ranging from civil to special-purpose applications, is the electronic component base. Its quality, reliability, and stability determine the functionality, safety, and competitiveness of the equipment.

This paper examines the principles and approaches of international quality assurance systems for electronic component base products, materials, and modules throughout their life cycle. These approaches are defined by the manufacturer's capabilities and the consistency of product quality, and are implemented through certification in accordance with established requirements, ensuring their international recognition.

Ключевые слова: стандартизация, международные стандарты, система менеджмента качества, система стандартизации.

Keywords: standardization, international standards, quality management system, standardization system.

Научная специальность: 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Введение

К принципиальным особенностям продукции электронной компонентной базы (далее – ЭКБ) относится универсальность технологических процессов производства и применения в соответствии с функциональным назначением, набором и составом технических характеристик. Стадии жизненного цикла разработки и производства ЭКБ различных категорий качества (от гражданской до особо надежной), процедур их подтверждения и верификации имеют единые базовые принципы, что установлено и в ранее разрабатываемых нормативных документах (требования к технологическим процессам и методам испытаний).



Подъяпольский С.Б. Булгаков О.Ю. Подъяпольский Н.С.

Разработка и производство ЭКБ для обеспечения высоких требований по устойчивости к внешним воздействующим факторам (в первую очередь радиационной стойкости) и надежности, определяют

необходимость дополнения базовых библиотек элементов отдельными элементами и установлению дополнений в технологии изготовления, что может быть осуществлено путем документирования частной реализации базового технологического процесса. В связи с чем, продукция ЭКБ (за исключением отдельных узкоспециализированных подгрупп изделий СВЧ) может относиться к продукции гражданского или двойного назначения (для различных отраслей экономики, областей применения и условий эксплуатации).

Основная часть

Процедуры подтверждения качества процессов производства и изделий ЭКБ в рамках системы международных требований и подходов, предпочтительно осуществляются Международной электротехнической комиссией «МЭК» (International Electrotechnical Commission – IEC).

В рамках МЭК функционирует система оценки соответствия и верификации IECQ (IEC Quality Assessment System), которая создана для подтверждения соответствия продукции, процессов и услуг требованиям международных стандартов ISO, IEC и других нормативных документов.

В системе действуют следующие схемы сертификации (таблица 1) и общие правила процедур на основе базовых документов системы IECQ (структуры, схемы оценки, правила признания [1,2] в зависимости от объектов и целей сертификации:

- IECQ AC – оценка качества изделий ЭКБ, материалов и модулей;
- IECQ LED – сертификация изделий ЭКБ для светодиодного оборудования;
- IECQ HSMP – управление процессами с опасными веществами;
- IECQ ITL – аттестация испытательных лабораторий;
- IECQ AP – оценка производственных процессов;
- IECQ AQP – сертификация изделий ЭКБ для автомобильной электроники;
- IECQ AVIONICS – изделий ЭКБ для авиационной и космической техники;
- IECQ CAP – защита от контрафакта.

В таблице 1 приведены схемы (документы), объекты, основной состав требований и видов испытаний, порядок сертификации.

Основные требования и нормативные документы, применяемые в системе:

- соответствие международным стандартам IEC (например, IEC 60068 – испытания, [3]. IEC 60749 – надёжность полупроводниковых приборов [4]);
- система менеджмента качества (далее – СМК): обязательное наличие сертифицированной QMS (обычно ISO 9001 или аналог) [5].

При этом при сертификации технологических процессов и СМК в целом, должно быть проверено, что организация представляет подтверждение таких элементов как:

- прослеживаемость, включая контроль партий, паспортов, дата-кодов, материалов;
- управление изменениями, предусматривающие любые изменения в технологии, требуют уведомления органа по сертификации;
- управление рисками;
- оценка дефектности, надёжности, конструктивные технологические запасы;
- испытания и контроль качества, в том числе климатические, механические, электрические, надёжностные испытания;
- документированность процессов, включающих технологические регламенты, методики испытаний, протоколы, технологические процессы изготовления ЭКБ, процессы сборки, специальные процессы (пайка, герметизация, литография, нанесение покрытий), а также вспомогательные процессы, критичные для качества продукции.

Ключевые элементы, подлежащие описанию и регистрации при оценке технологических процессов и СМК для подтверждения статуса изготовителя являются:

- описание и классификация процессов;
- контроль параметров и допусков;
- квалификация оборудования и персонала;
- управление изменениями процессов и материалов;
- воспроизводимость и стабильность (capability);
- корректирующие и предупреждающие действия.

Нормативная основа при проведении оценки технической готовности, стабильности и управляемости технологических процессов и эффективности СМК базируется на ряде системных документов [5-7].

Процессы и порядок сертификации в IECQ предусматривает следующие основные этапы:

1. Подготовка и подача заявки в орган по сертификации:

а) Указываются компоненты, процессы или материалы, подлежащие сертификации.

2. Предварительная оценка:

а) Проверка наличия и функционирования СМК по ISO 9001 либо эквивалентного документа;

б) Проверка документации и технологических регламентов.

3. Испытания продукции:

а) Испытания каждого заявленного типа продукции на соответствия техническим характеристикам в аккредитованных лабораториях соответствующим требованиям ISO/IEC 17025:2017 [6] (по стандартам IEC 60068, IEC 60749 и [3, 4] и др.).

б) Испытания на надёжность, стойкость к внешним воздействующим факторам, безопасность.

4. Аудит производства:

а) Проверка системы качества (QMS);

б) Проверка прослеживаемости партий и контроля поставок;

Схемы сертификации в IECQ и общие правила проведения работ

Схема / стандарт	Объект сертификации (Виды испытаний и методы подтверждения)	Основной состав требований (чему соответствие)	Порядок сертификации (основные шаги)	Надзор / срок действия / признание
IECEE CB Scheme (CB)	Продукт (электроприборы, модули; частично компоненты)	Соответствие требованиям стандартов безопасности IEC (электробезопасность, токи утечки, изоляция и др.) + испытания по унифицированным методикам.	1) Тестирование в аккредитованной лаборатории (CBTL); 2) Выпуск CB-отчёта и CB-сертификата; 3) Национальные NCB на основе CB (быстрая локальная сертификация).	Международная схема взаимного признания; CB-отчёт облегчает получение национальных сертификатов; сроки и надзор зависят от NCB.
IECQ Approved Component / Capability	Компонент и/или производственный процесс	Качество компонента, соответствие техническим спецификациям, прослеживаемость, оценка рисков, надёжность; для Capability – оценка процессов производителя.	1) Подготовка техдокументации и образцов; 2) Лабораторные испытания по соответствующим спецификациям; 3) Аудит производства / QMS; 4) Выдача сертификата IECQ; 5) ежегодный надзор/ресертификация.	Сертификат IECQ признаётся в отрасли как подтверждение надёжности компонента/поставщика; надзор регулярный.
AS6081 / AS5553 (SAE)	Процессы дистрибьюторов (AS6081) и производителей/поставщиков (AS5553)	Управление риском контрафакта: прослеживаемость, квалификация источников, процедуры приёмки/проверки, карантин, тестирование сомнительных изделий.	Аудит соответствия процессов закупки и контроля поставок; проверка записей, процедур тестирования и реагирования на подозрения.	Не является «государственной» схемой, но широко принимается в aerospace/defense цепочках; сертификация через аккредитованные органы/поставщиков услуг.
NADCAP (PRI)	Процессы специальных операций (покрытия, пайка, испытания) – в аэрокосмической цепочке	Глубокая техническая оценка специальных процессов; соответствие отраслевым требованиям OEM и prime-заказчиков.	Заявка → детализированный технический аудит спецификациями PRI → исправление замечаний → аккредитация → периодические ресертификации.	Очень строгая, отраслево-управляемая аккредитация; высокая степень доверия у заказчиков в aerospace/defense.
ISO 9001:2015	Система менеджмента качества организации (QMS)	Процессы управления качеством, контроль поставщиков, управление несоответствиями, документирование, непрерывное улучшение.	Аудит сертифицированного органа (3-х ступенчатый цикл: начальный аудит → сертификация → надзор ежегодно → ресертификация через 3 года).	Широкая признанность; часто – предварительное требование для других схем и закупок.
IEC 60068 (и др. environmental tests)	Методы испытаний компонентов и изделий	Климатические, механические, вибрационные и др. воздействия; количественные параметры испытаний (температура, влажность, циклы).	Не схема сертификации сама по себе – тесты выполняются в лабораториях, отчёты используются как доказательство в других схемах (CB, IECQ, OEM-требования).	Методики испытаний – отраслевой «язык» для доказательства стойкости; применяются при сертификации продукта/квалификации.
IEC 61508	Функциональная безопасность систем и – частично – компонентов	Жизненный цикл безопасности, оценка рисков, требования к компонентам, документация о доказательствах безопасности по различным уровням (SIL-1-4)	Проекты и оценки (часто через компетентные сертификационные органы); компоненты получают «данные пригодности» (частота и виды отказов-FMEDA и др.) для использования в SIL-системах.	Применяется по проектному принципу; прямое «сертификарование» компонентов редко, но компоненты должны иметь данные, необходимые системному сертификационному.

в) Проверка калибровки и состояния испытательного оборудования.

5. Рассмотрение результатов проверок и испытаний:

а) Отчёт об испытаниях и аудите направляется в IECQ CB (Certification Body).

6. Выдача сертификата IECQ:

а) Сертификат соответствия (IECQ Certificate of Conformity).

б) Внесение в международный реестр IECQ.

7. Надзор:

а) Ежегодные инспекционные проверки.

б) периодическая ресертификация (обычно каждые 3 года).

Отличительные особенности IECQ:

– в отличие от ISO 9001 – не просто система менеджмента, а подтверждение качества каждого конкретного типа ЭКБ;

– в отличие от IECEE CB – акцент не на безопасность, а на надёжность и качество изделий;

– в отличие от SAEAS6081/ AS5553 (и версии

AS5553A) [7,8] – охватывает не только защиту от подделок, но и полный цикл производства и испытаний.

Необходимо отметить, что AS6081/AS5553/NADCAP – это стандарты, которые задают комплексный подход к управлению рисками контрафакта в цепочке поставок электронных компонентов для авиации, оборонной промышленности и других критически важных систем. Они требуют от организаций разработки и внедрения плана контроля контрафактных электронных компонентов (Counterfeit Electronic Parts Control Plan). AS6081 детализирует практические шаги для ключевого звена цепочки дистрибьюторов, помогая им соответствовать требованиям AS5553.

Представленные выше порядок и процессы сертификации CMK и продукции ЭКБ в IECQ позволяют получить изготовителю следующие преимущества:

1. Упрощение поставок:

– компании-заказчики (в том числе в области воздушно-космической техники) доверяют сертификатам IECQ и могут отказываться от собственных входных аудитов;

– для крупных компаний (Boeing, Airbus, Thales, Siemens и др.) наличие IECQ-сертификации у поставщика – обязательное условие включения в реестр поставщиков.

2. Подтверждение компетенций производителя. Используется при тендерах и конкурсах на поставку ЭКБ и демонстрирует заказчику, что предприятие:

- управляет рисками;
- контролирует производство;
- выполняет международные стандарты.

3. Встраивание в национальные и отраслевые схемы. Результаты IECQ могут быть признаны в рамках:

- национальных систем сертификации (например, в ЕС, США, Китае);
- оборонных стандартов (в т.ч. при взаимном признании с MIL-STD, ESA ESCC).;
- в ряде стран (например, в Великобритании, Китае) сертификаты IECQ интегрированы в госзакупки.

4. Внутреннее использование на предприятии:

- используется как инструмент маркетинга («наши компоненты сертифицированы по IECQ»);
- позволяет оптимизировать процессы контроля качества (часть тестов и проверок можно заменить ссылкой на сертификацию);
- применяется как база для внутреннего аудита и совершенствования QMS.

5. Международное признание:

- сертификат IECQ заносится в международный реестр IECQ, доступный для заказчиков и регуляторов;
- производитель получает глобальное признание качества, что снижает необходимость повторной сертификации в разных странах;
- используется как «паспорт качества» при экспорте ЭКБ.

В системе IECQ не требуется межправительственных соглашений для признания результатов сертификации.

Практические последствия для производителя ЭКБ (особенно двойного назначения):

Если цель – экспорт готовых изделий, требующих электробезопасности, первично – получить СВ-отчёт/сертификат (IECEE CB) по релевантным IEC стандартам; это снимает «барьеры» национальной сертификации в ряде стран;

Если цель – подтверждение надежности и качества компонентов (чтобы убедить крупного OEM или заказчика в оборонной/критической отрасли) – лучше иметь IECQ Approved Component / Capability плюс ISO 9001 как QMS-фундамент;

Если есть риск контрафакта в цепочке поставок (особенно при закупках на открытом рынке, брокерами) – внедрять требования AS6081 / AS5553 (процедуры, проверки, тесты), и сделать аудит поставщиков по этим требованиям.

Для аэрокосмических / оборонных заказчиков и потребителей NADCAP (по отдельным процессам)

(MIL/MIL-STD, ESCC для космоса) часто необходимы дополнительно к IEC/JEDEC/ISO испытания, квалификацию и надёжность ЭКБ [9];

Функциональная безопасность: если компоненты используются в safety-critical системах, подготовьте FMEDA/данные пригодности и соответствие требованиям IEC 61508 (или отраслевая версия) – обычно нужно доказательство на уровне компонента/подсистемы, но сертификация проходит на уровне системы.

Заключение

Проведенный анализ к подходам и схемам сертификации в международной системе IECQ показывает, что схемы сертификации охватывают весь необходимый для подтверждения качества, надежности, обеспечения безопасности, исключения контрафакта при поставках изделий и соответствия статуса дистрибьюторов комплекс требований. Применение сертификатов системы в области подтверждения надежности производителя и его конкретной продукции применяется как универсальное международное подтверждение качества и надёжности, облегчающее экспорт, включение в реестр производителей и признание в смежных системах сертификации (ISO, AS, MIL, ESA). Следует также обратить внимание на сформированную методологию использования изделий микроэлектроники промышленного (потребительского) и коммерческого (потребительского) категорий качества, для целей применения в радиоэлектронной аппаратуре военного назначения, изложенную в HDBK-179A [10].

Литература

1. IECQ Rules – Rules of Procedure.
2. ECQ AC Scheme (разделы IECQ 01/02).
3. IEC 60068 (серия) Environmental testing.
4. IEC 60749 (серия) Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods.
5. ISO 9001:2015. Quality management systems – Requirements. – Geneva: ISO, 2015.
6. ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. – Geneva: ISO/IEC, 2017.
7. SAE AS6081 Counterfeit Electronic Components: Recommendations for Distributors.
8. SAE AS5553 (и версия AS5553A) (Counterfeit Electronic Parts; Avoidance, Detection, Mitigation, and Disposition): Counterfeit Electronic Parts: Avoidance, Detection, Mitigation, and Disposition.
9. MIL (Military) / MIL-STD (Military Standard).
10. HDBK-179A «Military handbook microcircuit acquisition handbook».

** Расширенный библиографический перечень стандартов и документов по исследуемому вопросу может быть направлен авторами по отдельному запросу*

УДК 006.91

ИННОВАЦИОННО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ РАЗВИТИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Быканов В.В., к. т. н., с. н. с., ВНС отдела метрологии, **Тишанов О.В.** начальник отдела метрологии, ФБГУ «ВНИИР», **Булгаков В.О.**, генеральный директор ООО «ВИАНТЕК»;
+7 (903) 215-34-68, vladis_b2000@mail.ru

Bykanov V.V., Ph.D., VNS of the Department of Metrology, **Tishanov O.V.**, Head of the Metrology Department, FSBI «VNIIR», **Bulgakov V.O.**, General Director of Ltd «VIANTEC»;
+7 (903) 215-34-68, vladis_b2000@mail.ru

Аннотация: В статье рассматриваются принципы инновационного подхода к формированию метрологической структуры, предложены ключевые направления модернизации, единые метрологические процедуры в рамках цифровой инженерии, всесторонняя калибровка и калибровочная устойчивость.

Annotation: The article examines the principles of an innovative approach to forming a metrological structure, proposes key areas for modernization, unified metrological procedures within the framework of digital engineering, comprehensive calibration, and calibration stability.

Ключевые слова: метрологическая структура, метрологическое обеспечение, программно-аппаратный комплекс.

Keywords: metrological structure, metrological support, hardware-software complex.

Научная специальность: 2.2.10 Метрология и метрологическое обеспечение.

Введение

Электронная компонентная база (далее – ЭКБ) нового поколения характеризуется высоким уровнем интеграции, минимальными размерами и требованием к экстремальной точности параметров, зависящих от технологических процессов в производстве. В условиях глобальной конкурентности метрологическая база играет критическую роль: она определяет точность калибровки, воспроизводимость измерений при разработке, производстве и надежность ЭКБ при эксплуатации. Следует отметить, что традиционные метрологические подходы отстают от скорости проектирования, не учитывают цифровизацию инженерных процессов и не обеспечивают цельное управление метрологическими рисками в процессе разработки и производства ЭКБ. Поэтому целью данной статьи является разработка концептуальных и практических основ инновационно-ориентированной метрологической структуры для предприятий радиоэлектронной промышленности (далее – РЭП, определение ключевых направлений ее модернизации).

Основная часть

Метрология, как наука об измерениях, является системной функцией на всех стадиях разработки и производства ЭКБ [1]. Однако следует отметить, что в настоящее время в практической метрологии отсутствует единая цифровая платформа, включающая в себя создание единого цифрового пространства для управления данными измерений, поверочными данными, юстировкой средств измерений (далее – СИ) перед проведением измерений и испытаний. В то же



Быканов В.В.



Тишанов О.В.



Булгаков В.О.

время слабое место в практической метрологии занимают моделирование измерений и цифровые двойники. В частности, использование моделей выбранных физических величин и процессов (например, параметрическая метрология, термодинамическое моделирование, электромагнитная совместимость) значительно повысит предиктивную оценку точности и стабильности измерений.

Следует отметить и значимость управления метрологическими рисками, включая влияние вариаций сырья, характеристик материалов, условий хранения и эксплуатации.

Вышеперечисленные концептуальные основы инновационно-ориентированной метрологии при разработке и производстве ЭКБ должны быть обеспечены национальными и международными стандартами, гармонизированными методиками измерений и обмена данными между участниками цепи поставок и разработок [2]. Предложенная архитектура инновационно-ориентированной метрологической структуры представлена на рис.1

Основными направлениями инноваций являются:

1. Единая методологическая база измерений – внедрение единой методологии измерений на ранних этапах разработки ЭКБ и стандартизацию процедур поверки(калибровки), подготовки образцов и методов испытаний.

2. Цифровизация метрологических процессов - перенос метрологических процессов в цифровую форму: электронные протоколы, цифровые подписи поверок (калибровок, автоматизированная обработка результатов.

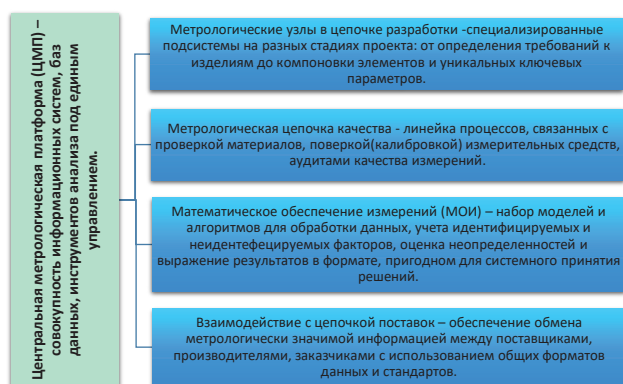


Рис. 1 Архитектура инновационно- ориентированной метрологической структуры

3. Моделирование и цифровые двойники – разработка цифровых двойников метрологических характеристик компонентов и узлов, а также прогнозирование влияния производственных вариаций на точность измерений.

4. Управление неопределенностями и рисками – применение формальных методов оценки неопределенности для измерений и параметров, критичных для функционирования ЭКБ.

5. Инновации в оборудовании и методах измерений – применение многофункциональных измерительных комплексов, интеграция нанотехнологий и верификация на нанометровом уровне, если это требуется для конкретной ЭКБ.

6. Стандартизация и обмен данными – разработка и внедрение общих форматов данных и метаданных для измерений.

7. Согласование требований по сертификации и аккредитации метрологических средств и структур.

Наибольший интерес и практическую значимость представляют методы реализации инновационной метрологической структуры, которые по мнению авторов должны быть реализованы в 7 предлагаемых этапов.

Этап 1. Стратегическое планирование и аудиты – проведение аудита текущей метрологической базы, формирование дорожной карты внедрения с привязкой к этапам жизненного цикла ЭКБ и бюджету.

Этап 2. Формирование Центральной метрологической платформы (далее – ЦМП) и стандартов – разработка архитектуры ЦМП, выбор подходов к хранению данных и обеспечению безопасности, разработка и внедрение стандартов, протоколов испытаний и форматов обмена данными.

Этап 3. Внедрение цифровых двойников – создание моделей для критических параметров компонентов и узлов ЭКБ, интеграция моделей в ЦМП и автоматизация обработки результатов измерений.

Этап 4. Внедрение управления метрологическими рисками – разработка методик оценки риска на основании параметрических данных, архивов, прогностических моделей, организация периодических аудитов и обновления планов по снижению рисков.

Этап 5. Внедрение автоматизации и роботизации измерений

Этап 6. Обучение и формирование культуры «метрологическая ответственность».

Этап 7. Применение инновационной метрологической структуры на стадиях разработки и производства ЭКБ.

Важным аспектом инновационно-ориентированного развития метрологических структур является текущее состояние и перспективы развития парка



Рис. 2 Распределение СИ радиотехнических величин по группам

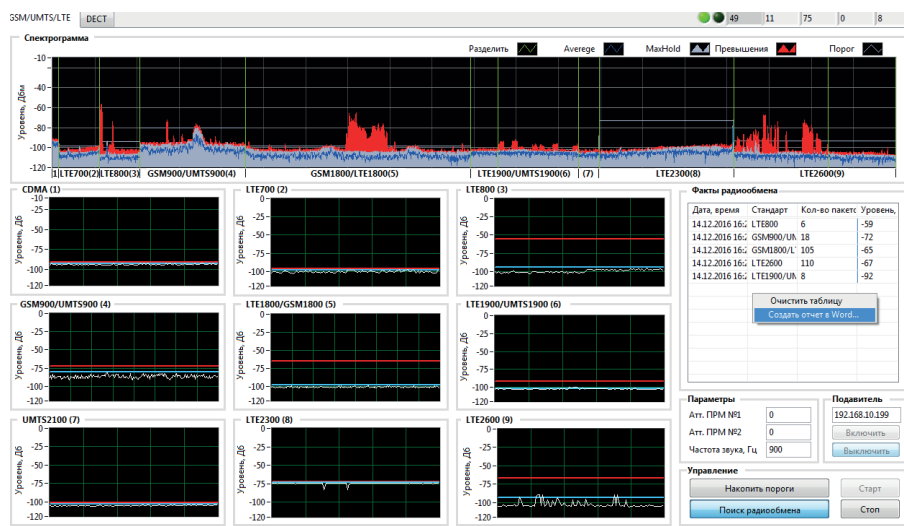


Рис. 3 Программный интерфейс разработанного ПАК

отечественных импортозамещенных СИ. В качестве примера, на рис. 2 приведено распределение СИ радиотехнических величин по группам.

Анализ приведенных выше СИ выявил, как необходимость разработки новых СИ, позволяющих заменить импортные, так и необходимость использования существующего парка СИ, с внедрением предложенных выше этапов создания инновационной метрологической структуры. В частности, это разработка и применение программно-аппаратных комплексов (далее – ПАК) для существующего парка СИ.

В качестве примера можно привести разработанный ООО «ВИАНТЕК» ПАК для СИ радиотехнических величин, который обеспечивает:

- высокоскоростной анализ спектра в диапазоне от 9 кГц до 18 ГГц;
- обнаружение и идентификацию радиоизлучений;
- фиксацию сеансов радиосвязи между базовыми станциями и мобильными устройствами;
- определение и идентификацию беспроводных точек доступа Wi-Fi;
- автоматизированное выполнение спецопераций в составе локальной вычислительной сети (далее – ЛВС) под управлением внешней ПЭВМ.

Программный интерфейс разработанного ПАК для СИ радиотехнических величин приведен на рис. 3.

Разработанный ПАК позволил решить следующие задачи:

- полностью автоматизировать выполнение радиомониторинга;
- обеспечить высокую скорость и стабильность (без потерь и пропуска пакетов) сбора и анализа данных;
- расширить функциональность отдельных компонентов путем объединения их в измерительный комплекс под управлением программного обеспечения;
- реализовать интеграцию с ЛВС и внешней ПЭВМ через интерфейсы Ethernet и USB.

Следует отметить, что разработка ПАК выполнена

с учетом ограничений по бюджету за достаточно короткий срок.

Приведенный пример показывает возможность реализации ПАК в существующих СИ, с учетом ограничений по бюджету за достаточно короткий срок, параллельно с разработкой новых СИ. Это в свою очередь позволяет решить задачу инновационно-ориентированного развития метрологических структур в рамках департамента радиоэлектронной промышленности в ближайшем обозримом будущем.

Заключение

Инновационно-ориентированное развитие метрологической структуры при разработке и производстве ЭКБ нового поколения позволяет превратить метрологию из вспомогательной функции в стратегический драйвер качества и технологического преимущества [3]. Применение единой цифровой платформы, цифровых двойников и системного управления неопределенностями обеспечивает не только более точные и воспроизводимые измерения, но и устойчивость к изменениям технологий, регуляторным требованиям и условиям рынка.

Литература

1. Федеральный закон от 26 июня 2008 года № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17.01.2020 года №20-Р «Об утверждении Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года и плана мероприятий по реализации Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года».
3. Быканов В.В. «Роль и место метрологического обеспечения в повышении качества и эффективности в современных экономических условиях» // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. №4, 2023, с. 9-14.



ВНИИР

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

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

ИЦ аккредитован на проведение 89 видов испытаний ЭКБ и РЭА

Лаборатория МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

15 видов испытаний, 7 ед. испытательного оборудования, 22 ед. средств измерений

Лаборатория КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

27 видов испытаний, 22 ед. испытательного оборудования, 21 ед. средств измерений

Лаборатория ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

17 видов испытаний, 19 ед. испытательного оборудования, 72 ед. средств измерений

Лаборатория ДИАГНОСТИЧЕСКОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И РАЗРУШАЮЩЕГО ФИЗИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

30 видов испытаний

Уникальные вид испытаний:

- определение отсутствия признаков контрафактного происхождения ЭКБ;
- диагностический неразрушающий контроль (акустический и рентгеновский);
- испытания на электромагнитную совместимость;
- воздействие плесневых грибов;
- воздействие факторов резко континентального характера.

ИЦ РАСПОЛАГАЕТ:

52 единицы аттестованного испытательного оборудования

216 единиц поверенных средств измерений

квалифицированный персонал



141002, Московская область, г.о. Мытищи,
г. Мытищи, ул. Колпакова, д. 2А
+7 (495) 586-17-21 доб. 1434; 1404;
e-mail: vniir@vniir-m.ru, сайт: vniir-m.ru



ВНИИР

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

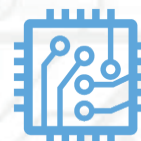
Главная научно-исследовательская испытательная организация Минпромторга России в области ЭКБ, научного обеспечения и межведомственной методической координации работ по созданию и проведению исследований (испытаний) изделий электронной компонентной базы

Статус института в качестве головной научно-исследовательской испытательной организации в области ЭКБ был определен Приказом Министра Минпромторга России № 3731 от 20.10.2016 г. и подтвержден в отношении ФГБУ «ВНИИР» Приказом Министра Минпромторга России № 829 от 16.03.2022 г.



В ФГБУ «ВНИИР» введена в эксплуатацию обновлённая **отраслевая информационная площадка «ЭКБ-Маркет»**. Площадка является наиболее актуальным и достоверным источником информации по наличию изделий ЭКБ отечественного производства и включает удобные сервисы по поиску, сравнению, подбору и онлайн заказу ЭКБ ОП. На площадке размещена информация по изделиям радиоэлектронной продукции отечественного производства.

Цели деятельности института предусматривают проведение исследований, анализа, испытаний опытных образцов, работы по повышению надёжности ЭКБ и созданию научно-технического задела в сфере РЭА и ЭКБ.



Формирование ФГБУ «ВНИИР» как **ЦЕНТРА КОМПЕТЕНЦИИ ЭЛЕКТРОННОЙ ОТРАСЛИ**, предусматривает продолжение исследований в области развития изделий ЭКБ, а также всей радиоэлектронной аппаратуры, реализацию стратегических и тактических задач, охватывающих следующие обобщённые направления исследований в области радиоэлектроники:



- мониторинг и развитие отрасли;
- интеграция технологий и производств;
- экспертиза (субсидии, параметры, проекты);
- межотраслевое взаимодействие;
- информационное обеспечение;
- нормотворчество;
- меры поддержки производителей;
- использование РИД и патенты;
- кадры и образование;
- сертификация и испытания;
- техническое регулирование.



ФГБУ «ВНИИР» является идеологом методологии балльной оценки уровня локализации продукции и формирует предложения по совершенствованию системы критериев и обеспечивает корректировку требований, установленных постановлением Правительства Российской Федерации от 17.07.2015 № 719 «О подтверждении производства российской промышленной продукции», в отношении всех групп радиоэлектронной аппаратуры.

ФГБУ «ВНИИР» осуществляет проведение проверки выполнения отдельных условий и технологических операций в отношении **телекоммуникационного оборудования** на предмет соответствия требованиям, установленным постановлением Правительства Российской Федерации от 17.07.2015 № 719 «О подтверждении производства российской промышленной продукции».



141002, Московская область, г.о. Мытищи,
г. Мытищи, ул. Колпакова, д. 2А
+7 (495) 586-17-21 доб. 1434; 1404;
e-mail: vniir@vniir-m.ru, сайт: vniir-m.ru