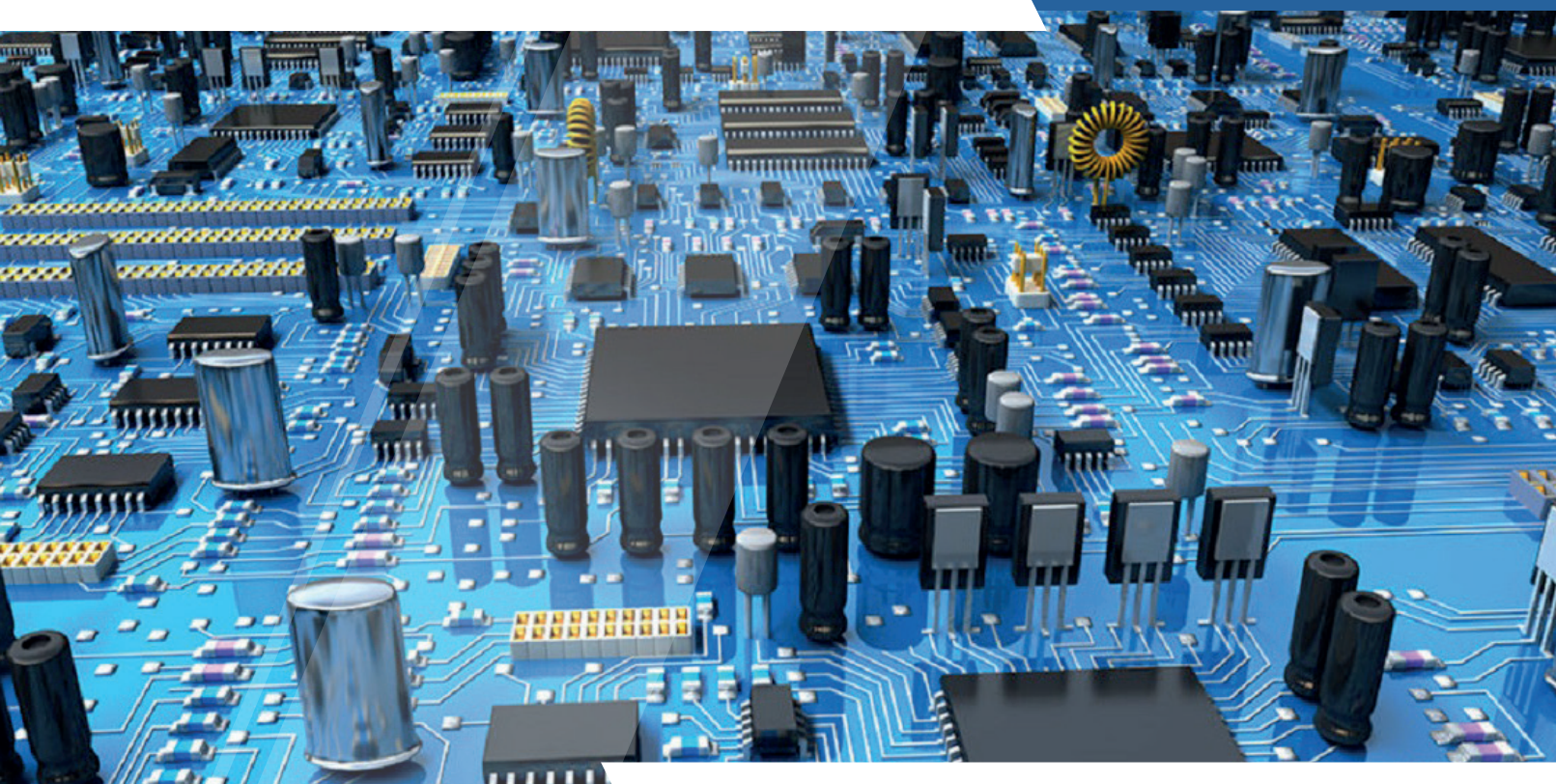


3⁽¹⁹⁾ | РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: 2025 | ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ





ВНИИР

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

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

БОЛЕЕ
400

ЭКЗЕМПЛЯРОВ
ПЕРЕЧНЯ ЭКБ
ИЗГОТОВЛЯЮТСЯ И
РАСПРОСТРАНЯЮТСЯ
ЕЖЕГОДНО

110

ЕДИНИЦ СРЕДСТВ
ИЗМЕРЕНИЙ

56

ЕДИНИЦ
ИСПЫТАТЕЛЬНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ

В ФГБУ «ВНИИР» введена в эксплуатацию обновлённая
отраслевая торгово-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.

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

Цели деятельности института предусматривают проведение
исследований, конструкторско-технологических разработок и
испытаний опытных образцов, работы по повышению
надёжности электронной компонентной базы и созданию
научно-технического задела в сфере РЭА и ЭКБ.

Сегодня на институт Минпромторгом России возлагается
задача – **СТАТЬ ЦЕНТРОМ КОМПЕТЕНТНОСТИ
В ОБЛАСТИ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

Институту предстоит сформировать новый технологический облик
российской электроники, провести исследование кооперационных
связей и оценить потенциал отраслевых предприятий, увязав эту
работу с вопросом кадрового обеспечения производителей.

Формирование ФГБУ «ВНИИР» как
ЦЕНТРА КОМПЕТЕНЦИИ ЭЛЕКТРОННОЙ ОТРАСЛИ,
предусматривает продолжение исследований в
области развития изделий ЭКБ, 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.

**ПРИГЛАШАЕМ К
СОТРУДНИЧЕСТВУ!**



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

Система добровольной сертификации радиоэлектронной аппаратуры, электронной
компонентной базы и материалов военного, двойного и народнохозяйственного
назначения «Электронсерт» (рег. № РОСС.RU.B2618.04KMHO от 07.04.2022 г.)



АВТОНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ «ЭЛЕКТРОНСЕРТИФИКА»



СЕРТИФИКАЦИЯ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

- ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ РАЗРАБОТЧИКОВ ЭКБ И РЭА
- ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ ИЗГОТОВИТЕЛЕЙ ЭКБ И РЭА
- ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ ПОСТАВЩИКОВ ЭКБ И РЭА



МЕТОДИЧЕСКИЕ УСЛУГИ

- СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ-РАЗРАБОТЧИКОВ
ИЗГОТОВИТЕЛЕЙ ЭКБ
- СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПОСТАВЩИКОВ ЭКБ
- СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ (ЦЕНТРОВ)



ОБУЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ

- СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ
- ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ЭКБ В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ
ЛАБОРАТОРИЯХ (ЦЕНТРАХ)
- МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ 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

РО Пир 3(19)/2025 (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 перерегистрации 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
И.С. Иванов, 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, член-корреспондент РАН
В.М. Исаев, доктор технических наук
Е.Г. Комаров, доктор технических наук
В.А. Мельников, 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

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 05.09.2025 г.

Подписано к печати 25.09.2025 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**ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Иванов И.С., Трусов А.В. Формирование системы информационной поддержки процессов импортозамещения в радиоэлектронной промышленности 2

Яньков А.И., Мухин Е.В., Челенко Р.М. Особенности тестирования статического оперативного запоминающего устройства 9

РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ

Дормидошина Д.А. Ключевые преимущества компьютерного зрения в промышленности 13

Петушков А.С. Длительность хранения бескорпусных микросхем при создании страховых запасов 18

Гладышева М.П., Колпакова Е.В., Орехов Д.Е., Мягкова Ю.С. Разработка технологии изготовления многослойных керамических LTCC плат и модулей на их основе из отечественных материалов 21

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ

Артеменко В.Б., Першин Е.В., Долгополов В.Г., Габрух А.Ю. Перспективная система обеспечения надежности специальной техники 27

Шведов А.В. Разработка предложений по организации метрологического обеспечения поставщиков электронной компонентной базы 32

Быканов В.В., Булгаков О.Ю., Тишанов О.В. Совершенствование метрологического обеспечения в целях повышения качества современной электронной компонентной базы 38

УДК 004.04

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССОВ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

FORMATION OF AN INFORMATION SUPPORT SYSTEM FOR IMPORT SUBSTITUTION PROCESSES IN THE RADIO-ELECTRONICS INDUSTRY

Иванов И.С., генеральный директор, ФГБУ «ВНИИР», +7 (495) 586-17-21, ivanov@vniir-m.ru,
Трусов А.В., д. т. н., доцент, профессор кафедры информатики, ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова», начальник научно-методического управления, ФГБУ «ВНИИР», +7 (919) 119-11-11, tav@permcti.ru

Ivanov I.S., General Director, FSBI "VNIIR", +7 (495) 586-17-21, ivanov@vniir-m.ru,
Trusov A.V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Informatics, G.V. Plekhanov Russian University of Economics, Head of the Scientific and Methodological Department of the Federal State Budgetary Institution "VNIIR", +7 (919) 119-11-11, tav@permcti.ru

Аннотация: Рассмотрены подходы к формированию системы информационной поддержки процессов импортозамещения в радиоэлектронной промышленности. Особое внимание уделено концептуальному представлению архитектуры системы и задачам, решаемых системой, предложено онтологическое описание информационной поддержки процессов формирования данных о разработках, производстве и потребностях в импортозамещающей электронной и радиоэлектронной продукции.

Annotation: Approaches to the formation of an information support system for import substitution processes in the radioelectronic industry are considered. Special attention is paid to the conceptual representation of the system architecture and the tasks solved by the system, and an ontological description of information support for the formation of data on developments, production, and needs for import-substituting electronic and radio-electronic products is proposed.

Ключевые слова: информационная поддержка, научно-технологическое развитие, онтологическое описание, импортозамещение, радиоэлектронная промышленность.

Keywords: information support, scientific and technological development, ontological description, import substitution, radio-electronic industry.

Научная специальность: 2.3.8. Информатика и информационные процессы.

Введение

В стратегии развития электронной отрасли до 2030 года говорится, что современный этап развития электронной и радиоэлектронной промышленности (далее – РЭП) характеризуется сильным влиянием внешней среды на развитие отрасли, которое выражается в наличии «санкций и запретов на доступ к зарубежным технологиям, оборудованию и материалам» [1], что неминуемо ведет к усложнению производственного и технологического развития отрасли, включая разработку и производство конкурентоспособной электронной и радиоэлектронной продукции. Для оценки состояния РЭП Стратегией развития электронной отрасли предусматривается проведение на постоянной основе мониторинга количественной и качественной информации результатов научно-технологического развития, сбор, агрегирование и обработку данных, что должно способствовать решению задач информационно-аналитической поддержки процессов научно-технологического развития (далее – НТР) в РЭП.

Информационная поддержка процессов импор-



Иванов И.С.



Трусов А.В.

тозамещения является важнейшим фактором, влияющим на развитие многих отраслей экономики [2], в том числе и радиоэлектронной, направленной на обеспечение субъектов НТР РЭП оперативной, достоверной и своевременной информацией, в первую очередь о потребностях субъектов экономики в импортозамещающей радиоэлектронной аппаратуре (далее – РЭА) и электронной компонентной базе (далее – ЭКБ). Это влияет на снижение зависимости российской экономики от импорта радиоэлектронного оборудования, комплектующих, запасных частей

и услуг (работ) иностранного производства, что безусловно обеспечивает технологический суверенитет, экономическую и технологическую безопасность Российской Федерации и говорит об актуальности рассматриваемых вопросов.

Система информационной поддержки субъектов импортозамещения в РЭП, являясь неотъемлемой частью экосистемы научно-технологического развития радиоэлектронной промышленности [3], формирует данные и знания, необходимые для развития, как самой электронной и радиоэлектронной отрасли, так и для других, смежных с РЭП отраслей экономики. Исходя из этого формирование системы информационной поддержки субъектов импортозамещения в РЭП является важной задачей НТР отраслей экономики в Российской Федерации, нацеленной на обеспечение целостности и единства, на создание условий поступательного инновационного развития [4].

Основная часть

Концептуальное представление архитектуры системы информационной поддержки процессов импортозамещения в радиоэлектронной промышленности

Импортозамещение – это процесс создания новых или развития существующих современных конкурентоспособных производств, материалов и технологий радиоэлектронной продукции в Российской Федерации, предназначенных для замещения импортируемых материалов, технологий и продукции радиоэ-

электронной промышленности. Импортозамещение, как правило, осуществляется в форме локализации на территории Российской Федерации производств и технологий, воспроизведения технологий, либо в форме переориентации трансграничных производственных цепочек на устойчивых (надежных) поставщиков, импортирующих на территорию Российской Федерации товары, услуги и технологии и является важнейшей частью НТР отраслей РЭП. Именно отсюда научно-технологическое развитие субъектов РЭП, включая разработчиков и производителей РЭА и ЭКБ, а также центров технологических компетенций, формирующих прорывные технологии и разрабатывающих импортозамещающую электронную и радиоэлектронную продукцию (далее – ИЗП), невозможно без информационной поддержки процессов импортозамещения.

Система информационной поддержки процессов импортозамещения (далее – Система) нацелена на обеспечение интеграции возможностей субъектов РЭП в разработке и производстве ИЗП, с потребностями субъектов экономики в электронной и радиоэлектронной продукции. На концептуальном уровне (рис. 1) архитектура системы представляет собой комплекс организационных, информационных и программно-технических мероприятий, нацеленных на информационно-аналитическое сопровождение программ и мероприятий импортозамещения в отраслях радиоэлектронной промышленности Российской Федерации и связанных с ними отраслями экономики России.

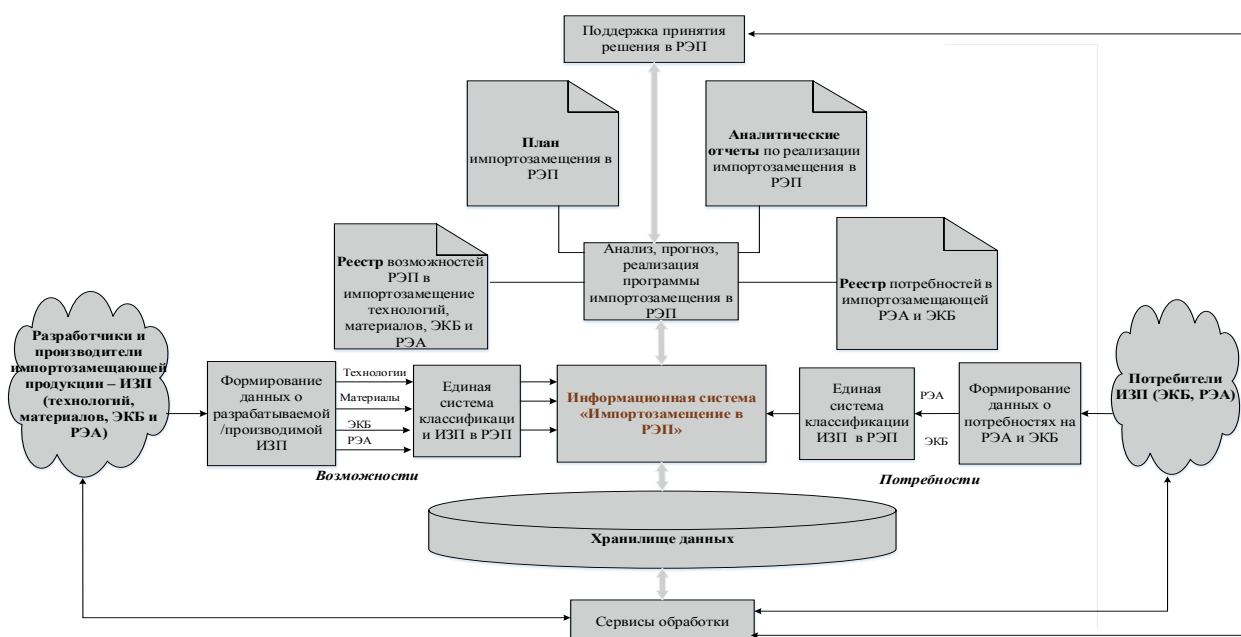


Рис. 1. Структурная схема концептуального представления архитектуры системы информационной поддержки процессов импортозамещения в РЭП

Система направлена на создание организационно-информационных механизмов, обеспечивающих возможность:

- формирования единого источника консолидированной информации о разработках и производстве субъектами РЭП ИЗП (технологий, материалов, ЭКБ и РЭА) и потребностях субъектов экономики в ИЗП;
- формирования практико-ориентированного отраслевого плана импортозамещения;
- интерактивного информационного взаимодействия субъектов РЭП, направленного на повышение скоординированности их действий по снижению зависимости субъектов российской экономики от импортной электронной и радиоэлектронной продукции и технологий.

Основной стратегической целью системы является **оказание информационно-аналитической поддержки процессов** принятия решения в области реализации планов (программ) импортозамещения в РЭП и поддержка субъектов импортозамещения при подготовке и принятии ими управленческих решений при разработке, производстве и использовании ИЗП и технологий.

По сути, субъекты импортозамещения в РЭП представляют собой два множества. Первое множество объединяет разработчиков и производителей ИЗП. Второе множество включает потребителей ИЗП (субъектов отраслей экономики), использующих РЭА и ЭКБ в процессе своей производственной деятельности. Пересечение этих двух множеств и создает синергетический эффект, направленный на повышение эффективности и результативности НТР отраслей РЭП.

Предлагаемая система обеспечивает формирование исходных данных о разрабатываемой и производимой ИЗП субъектами РЭП, а также о потребностях в импортозамещающей радиоэлектронной продукции у субъектов экономики. Формализация исходных данных производится за счет использования единой системы классификации ИЗП. Классифицированная информация поступает на хранение в интегрированную базу данных. Цифровые сервисы обработки данных обеспечивают проведение анализа массива информации, на основании которого осуществляется формирование отраслевого плана импортозамещения в РЭП, а также проводится оценка реализации отраслевых планов и программы импортозамещения, осуществляется прогнозирование в потребности развития импортозамещающих технологий и продукции в РЭП.

К основным решаемым задачам системы информационной поддержки процессов импортозамещения в РЭП следует отнести:

- формирование планов импортозамещения предприятий радиоэлектронной промышленности;
- формирование консолидированного отраслевого плана импортозамещения в радиоэлектрон-

ной промышленности (на основе планов импортозамещения предприятий РЭП);

- мониторинг хода реализации (выполнения) отраслевого плана импортозамещения предприятиями радиоэлектронной промышленности;
- обеспечение субъектов экономики России оперативной, достоверной и своевременной информацией о разработках и производстве отечественной импортозамещающей радиоэлектронной продукции;
- обеспечение разработчиков и производителей радиоэлектронной продукции оперативной, достоверной и своевременной информацией о потребностях субъектов экономики России в отечественной импортозамещающей продукции;
- обеспечение органов государственной власти оперативной, достоверной и своевременной информацией о потребностях субъектов экономики России в импортозамещающей продукции и возможностях субъектов радиоэлектронной промышленности в разработке и производстве импортозамещающей продукции;
- формирование реестра возможностей субъектов радиоэлектронной промышленности в разработках и производстве импортозамещающих технологий, материалов, ЭКБ и РЭА;
- формирование реестра потребностей в импортозамещающей радиоэлектронной продукции у субъектов экономики России (по отраслям);
- формирование различных аналитических отчетов по реализации отраслевого плана и программ импортозамещения в РЭП.

Система информационной поддержки процессов импортозамещения в РЭП, исходя из существующей классификации, относится к распределенным информационным системам, функционирующим в распределенной глобальной сети интернет с «клиент-серверной» архитектурой. Структурно Система включает в себя организационные и информационные компоненты, взаимосвязь которых обеспечивает реализацию процедур формирования и обработки данных в области импортозамещения в РЭП. Информационные компоненты реализуют функции работы с данными, обеспечивают их сбор, классификацию, хранение, смысловую информационно-аналитическую обработку и визуализацию данных, в соответствие с запросами и потребностями пользователей. Организационные компоненты направлены на методическую и организационную поддержку процессов сбора, подготовки и обработки данных, разработки процедур информационной поддержки принятия управленческих решений и административного управления в области импортозамещения в РЭП [5].

Предлагаемое концептуальное представление архитектуры системы информационной поддержки процессов импортозамещения обеспечивает формирование на федеральном уровне единой инфор-

Онтологическое описание данных в системе информационной поддержки процессов импортозамещения в радиоэлектронной промышленности

Онтологическая модель описания данных в систе-

- План импортозамещения;
- Плановые и фактические показатели объема производства;
- Плановые и фактические показатели объема спроса;
- Затраты на реализацию проекта;
- Меры государственной поддержки;
- Проекты/Программы, в рамках которых реализуется проект;
- Сведения о зарубежной продукции;
- Функциональные и технические преимущества.

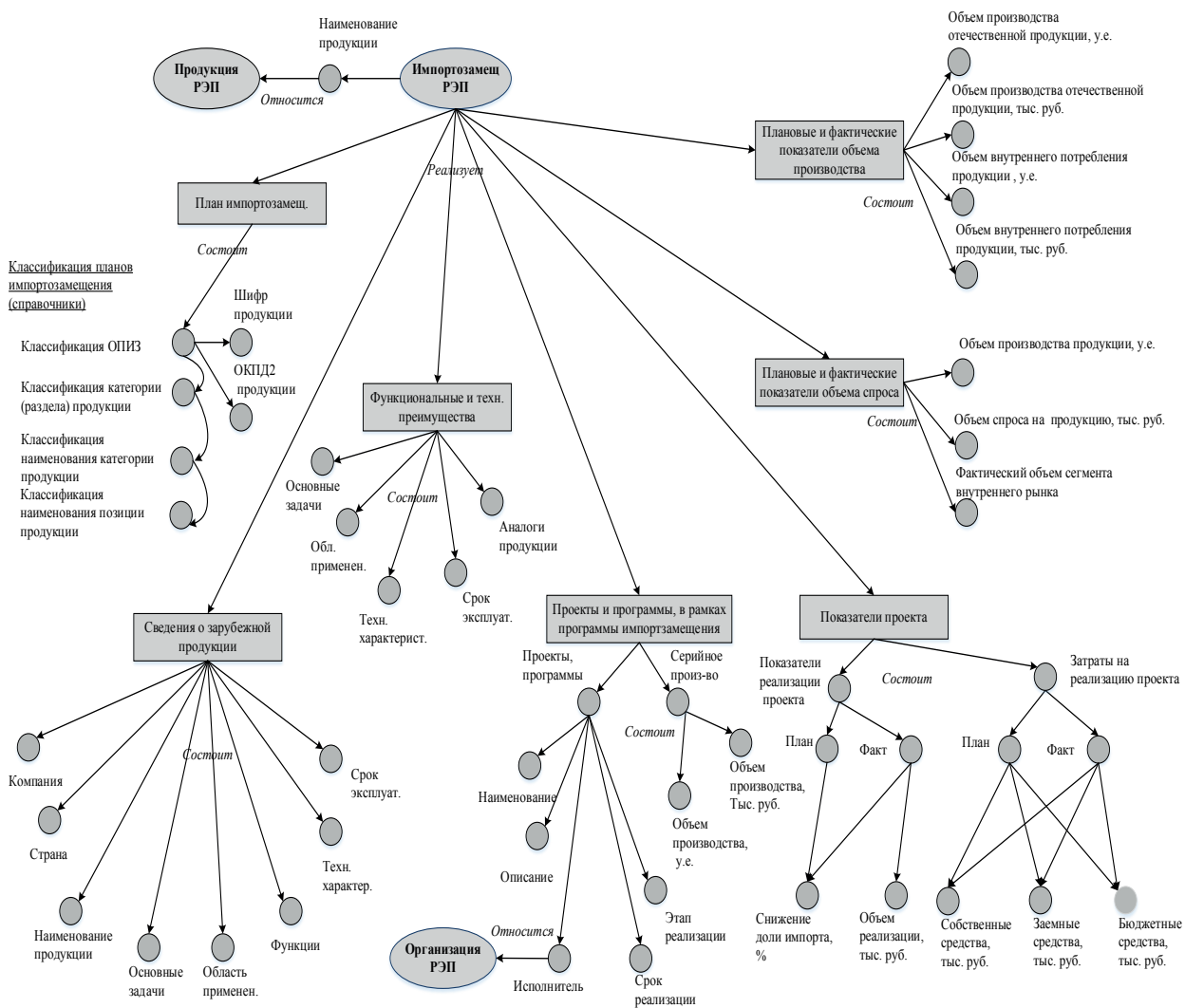


Рис. 2. Онтологическая модель описания данных в системе информационной поддержки процессов импортозамещения в радиоэлектронной промышленности

Данные формируются на каждую номенклатуру выпускаемой (разрабатываемой) ИЗП и тесно связаны с организациями электронной и радиоэлектронной промышленности, разрабатывающих и(или) производящих РЭА, ЭКБ, технологии и материалы, и организациями отраслей экономики – потребителей РЭА и ЭКБ.

Предлагаемый онтологический подход, с одной стороны обеспечивает формирование данных о разработках и производстве РЭА и ЭКБ, а с другой стороны обеспечивает запрос данных о потребностях в импортозамещающей радиоэлектронной продукции у субъектов отраслей экономики. Для понимания алгоритма формирования и классификации данных на

ИЗП рассмотрим основные подходы к правилам построения специализированных справочников системы информационной поддержки процессов импортозамещения в радиоэлектронной промышленности.

Проведенный анализ процессов импортозамещения показал, что для формализации формируемых данных на ИЗП необходимо использовать специализированные справочники и классификаторы, представляющих собой совокупность взаимосвязанных информационных множеств, включающих в себя:

- отраслевые планы импортозамещения (ОПИЗ_г);
- коды категорий (разделов) продукции импортозамещения (КПр_г);
- наименования категорий импортозамещения (НК_г);
- наименования радиоэлектронной продукции (НПр_г) импортозамещения;
- шифры (ШП_г);
- коды ОКПД2 продукции (ОКПД_г), формируемых в соответствии с выбранной категорией, соответствующей позицией и наименованием из ОПИЗ.

Справочник ОПИЗ обеспечивает позиционирование импортозамещающей продукции к конкретному отраслевому плану импортозамещения с точки зрения разработчиков, производителей и потребителей РЭА, ЭКБ, технологий и материалов. Производится привязка ИЗП к конкретному отраслевому плану импортозамещения:

$$\text{ИЗП}_i := \text{ОПИЗ}_i \in \{\text{ОПИЗ}_1 \vee \text{ОПИЗ}_2, \vee \dots \vee \text{ОПИЗ}_{13}\}, \quad (1)$$

где ОПИЗ₁ – отраслевой план импортозамещения в радиоэлектронной промышленности;
ОПИЗ₂ – отраслевой план импортозамещения в судостроительной промышленности;
ОПИЗ₃ – отраслевой план импортозамещения в энергетическом машиностроении;
ОПИЗ₄ – отраслевой план импортозамещения в электротехнической промышленности;
ОПИЗ₅ – отраслевой план импортозамещения в нефтегазовом машиностроении;
ОПИЗ₆ – отраслевой план импортозамещения в тяжелом машиностроении;
ОПИЗ₇ – отраслевой план импортозамещения в автомобильной промышленности;
ОПИЗ₈ – отраслевой план импортозамещения в гражданском авиастроении;
ОПИЗ₉ – отраслевой план импортозамещения в социально-значимых отраслях промышленности;
ОПИЗ₁₀ – отраслевой план импортозамещения в пищевой промышленности;
ОПИЗ₁₁ – отраслевой план импортозамещения в перерабатывающей промышленности;
ОПИЗ₁₂ – отраслевой план импортозамещения в медицинской промышленности;

ОПИЗ₁₃ – отраслевой план импортозамещения в сельскохозяйственном машиностроении.

Для продукции импортозамещения определяется код категории продукции путем однозначного выбора из справочника нужного раздела категории:

$$\text{ИЗП}_i := \text{КПр}_i \in \{\text{КПр}_1 \vee \text{КПр}_2, \vee \text{КПр}_3\} \quad (2)$$

где КПр₁ – готовая продукция;
КПр₂ – сырье, материалы, комплектующие;
КПр₃ – средства производства.

Наименования категории продукции импортозамещения представляет собой отраслевой приоритет научно-технологического развития, причем для конкретного существует единственно возможное наименование категории продукции (отраслевого приоритета), отнесенного к конкретному плану импортозамещения:

$$\text{НК}_i := \{\{\text{НК}_1 \vee \text{НК}_2 \vee \dots \vee \text{НК}_9\} \exists \text{КПр}_i \in \{\text{ОПИЗ}_g\}, \quad (3)$$

где НК₁ – электрическое оборудование;
НК₂ – медицинская техника;
НК₃ – вычислительная техника;
НК₄ – телекоммуникационное оборудование;
НК₅ – электроника для энергетического машиностроения;
НК₆ – электроника для тяжелого машиностроения;
НК₇ – автоэлектроника;
НК₈ – электронная компонентная база;
НК₉ – электротехническая продукция;
КПр_г ∈ {КПр₁ ∨ КПр₂, ∨ КПр₃} – выбор конкретного раздела кода категории продукции («Готовая продукция», «Сырье, материалы, комплектующие», «Средства производства») на всем множестве кодов категории продукции импортозамещения;
ОПИЗ_г ∈ {ОПИЗ₁ ∨ ОПИЗ₂, ∨ ... ∨ ОПИЗ₁₃} – выбор конкретного плана импортозамещения на всем множестве ОПИЗ.

Определение наименования (позиции) радиоэлектронной продукции импортозамещения для выбранного ОПИЗ осуществляется исходя из выбранной категории (отраслевого приоритета) для которой формируется справочник наименований радиоэлектронной продукции:

$$\text{НПр}_i := (\forall \{\text{НК}_g\} \exists \text{НПр}_i \in (\text{НПр}_1 \vee \text{НПр}_2 \vee \dots \vee \text{НПр}_n)), \quad (4)$$

где НК_г := {НК₁ ∨ НК₂ ∨ ... ∨ НК₉} ∃ КПр_г ∈ {ОПИЗ_г} – выбор конкретной категории продукции (отраслевого приоритета), входящей в конкретный

отраслевой план импортозамещения на всем множестве ОПИЗ.

Например, для выбранного ОПИЗ и категории продукции НК₁ – «Электрическое оборудование» наименования (позиция) импортозамещающей продукции может иметь вид:

НК₁ – осветительное оборудование;
НК₂ – светодиоды;
НК₃ – микроконтроллеры для осветительного оборудования;
НК₄ – светодиодный модуль, состоящий из светодиодов, напаянных на алюминиевой печатной плате;
...
НК_n – иное оборудование.

Аналогичным образом для каждого ОПИЗ по каждой категории продукции строятся справочники наименований ИЗП.

Шифр ИЗП содержит уникальный код на всем множестве ОПИЗ, формируется в соответствии с наименованием (позицией) радиоэлектронной продукции из выбранной категории:

$$\text{ИЗП}_i := (\text{ШП}_i \in \{\text{НПр}_i\}). \quad (5)$$

Код ОКПД2 продукции формируется в соответствии с наименованием (позицией) радиоэлектронной продукции:

$$\text{ИЗП}_i := (\text{ОКПД}_i \in \{\text{НПр}_i\}), \quad (6)$$

где НПр_i – наименование (позиция) радиоэлектронной продукции для выбранного ОПИЗ осуществляется исходя из выбранной категории (отраслевого приоритета) импортозамещения.

Для понимания сущности импортозамещающих проектов на разработку, производство и потребление ИЗП_i формируются следующие данные:

- плановые и фактические показатели объема производства (ПФП_i) по годам в натуральном и денежном выражении;
- плановые и фактические показатели объема спроса (ПОС_i) по годам в натуральном и денежном выражении;
- затраты на реализацию проекта (ЗП_i) в разрезе собственных, заемных и бюджетных средств;
- показатели на реализацию инвестиционного проекта (ПИП_i);
- меры государственной поддержки (МГП_i) проекта;
- показатели выхода на серийное производство (ВСП_i);
- проекты/программы (ПрП_i), в рамках которых реализуется проект импортозамещения в РЭП;

- сведения на импортозамещающую зарубежную радиоэлектронную продукцию (ЗРП_i);
- сведения на функциональные и технические преимущества (ФТПр_i) перед зарубежным аналогом.

Плановые и фактические показатели (ПФП_i) объема производства формируются в натуральном и денежном выражении:

$$\text{ПФП}_i := (\text{ПлП}_i \cap \text{ФП}_i), \quad (7)$$

где ПлП_i – плановые показатели объема производства;

ФП_i – фактические показатели объема производства.

Формируются плановые и фактические показатели в натуральном и денежном выражении объема спроса (ПОС_i) на ИЗП по кодам категории (разделам) продукции (готовая продукция, сырье, материалы, комплектующие, средства производства):

$$\text{ПОС}_i := (\text{ПлП}_i \cap \text{ФП}_i), \quad (8)$$

где ПлС_i – плановые показатели объема спроса;
ФС_i – фактические показатели объема спроса.

Затраты на реализацию проекта (ЗП_i) (собственные, заемные, бюджетные) формируются в разрезе плановых и фактических показателей реализации отраслевого плана импортозамещения:

$$\text{ЗП}_i := ((\text{ПС}_i \cap \text{ФС}_i) \cup (\text{ПЗ}_i \cap \text{ФЗ}_i) \cup (\text{ПБ}_i \cap \text{ФБ}_i)), \quad (9)$$

где ПС_i – плановые собственные средства;
ФС_i – фактические собственные средства;
ПЗ_i – плановые заемные средства;
ФЗ_i – фактические заемные средства;
ПБ_i – плановые бюджетные средства;
ФБ_i – фактические бюджетные средства.

Показатели реализации инвестиционного проекта (ПИП_i) показывают плановое и фактическое снижение доли импорта и объемы от реализации ИЗП:

$$\text{ПИП}_i := ((\text{ПСД}_i \cap \text{ФСД}_i) \cup (\text{ПОР}_i \cap \text{ФОР}_i)), \quad (10)$$

где ПСД_i – плановое снижение доли импорта;
ФСД_i – фактическое снижение доли импорта;
ПОР_i – плановый объем реализации продукции;
ФОР_i – фактический объем реализации продукции.

Меры государственной поддержки (МГП_i) указывают на используемые и необходимые при разработке, производстве и потреблении ИЗП меры

государственной поддержки в денежном выражении реализации проекта:

$$\text{МГП}_i := (\text{ФМИ}_i \cup \text{ФМН}_i), \quad (11)$$

где ФМИ_i – используемые финансовые меры государственной поддержки;

ФМН_i – необходимые финансовые меры государственной поддержки.

Если в рамках реализации проекта на производство ИЗП освоено серийное производство (ВСП_i), то осуществляется формирование данных в натуральном и денежном выражении:

$$\text{ВСП}_i := (\text{СПН}_i \cup \text{СПД}_i), \quad (12)$$

где СПН_i – данные в натуральном выражении о серийном производстве ИЗП;

СПД_i – данные в денежном выражении о серийном производстве ИЗП.

Формирование данных о проектах/программах (ПрП_i), в рамках которых реализуется проект импортозамещения в РЭП, включает в себя аккумулирование данных на проект: наименование, описание проекта, срок реализации и этап, на котором находится реализация проекта.

Сведения об импортозамещаемой зарубежной радиоэлектронной продукции (ЗРП_i), на смену которой предназначена отечественная ИЗП, включает описание страны и компании производителя, наименование продукции, решаемые задачи, область применения, описание функций, основные технические характеристики и установленный срок эксплуатации, основные производители продукции.

Функциональные и технические (ФТПр_i) характеристики ИЗП преимущества перед зарубежным аналогом включают в себя агрегирование данных по области применения, решаемым задачам, выполняемым функциям, основным техническим характеристикам и установленном сроке эксплуатации продукции.

Таким образом полная сформированная запись на разработку, производство и(или) потребление импортозамещающей продукции представляет собой объединение данных из всех информационных множеств, относящихся к конкретной продукции:

$$\begin{aligned} \text{ИЗП}_i = \{ & \text{ОПИЗ}_i \cup \text{КПр}_i \cup \text{НК}_i \cup \text{НПр}_i \cup \text{ШП}_i \cup \\ & \text{ОКПД}_i \cup \text{ПФП}_i \cup \text{ПОС}_i \cup \text{ЗП}_i \cup \text{ПИП}_i \cup \text{МГП}_i \cup \\ & \text{ВСП}_i \cup \text{ПрП}_i \cup \text{ЗРП}_i \cup \text{ФТПр}_i \} \end{aligned} \quad (13)$$

Предложенное онтологическое описание данных на ИЗП_i обеспечивает формирование и классификацию данных с учетом информационной потребности субъектов НТР на импортозамещающую продукцию.

Заключение

Таким образом предлагаемое концептуальное представление системы информационной поддержки процессов импортозамещения с ее онтологическим представлением модели формирования и классификации данных обеспечивает однозначную формализацию данных на разрабатываемую, производимую и потребляемую импортозамещающую продукцию на основе информационной интеграции и информационного взаимодействия всех заинтересованных субъектов, тем самым позволяет обеспечить реализацию планов импортозамещения в РЭП, в рамках НТР РЭП.

Литература

1. Стратегия развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года / Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 января 2020 года № 20-р // Электронный ресурс: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202001220017> (дата обращения 10.07.2025).
2. Трусов А.В., Трусов В.А. «Информационные модели процесса формирования планов импортозамещения в топливно-энергетическом комплексе России» // Информационные ресурсы России. – 2018. – № 5(165). – С. 15-21.
3. Иванов И.С. «Формирование экосистемы информационной поддержки научно-технологического развития отраслей радиоэлектронной промышленности» /Электронный ресурс: <https://mlsd2023.ipu.ru/proceedings/0867.pdf> (дата обращения 09.06.2025).
4. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации /Указ Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 года № 145 «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» // Электронный ресурс: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358/page/3> (дата обращения 27.06.2025).
5. Трусов В.А. «Организационно-информационная поддержка единого системного подхода реализации политики импортозамещения в топливно-энергетическом комплексе» // Информационные ресурсы России. – 2018. – № 2 (162). – С. 8-12.

ОСОБЕННОСТИ ТЕСТИРОВАНИЯ СТАТИЧЕСКОГО ОПЕРАТИВНОГО ЗАПОМИНАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

FEATURES OF TESTING STATIC RANDOM-ACCESS MEMORY

Яньков А.И., к. т. н., технический директор, Мухин Е.В., инженер,
Челенко Р.М., ведущий инженер, ООО «НПП «Детектор», +7 (800) 300-56-39, info@nppdetector.ru

Yankov A.I., Ph.D. of Engineering Sciences, Technical Director, Mukhin E.V., engineer,
Chelenko R.M., lead engineer, ООО «NPP «Detector», +7 (800) 300-56-39, info@nppdetector.ru

Аннотация: При проведении испытаний сложно-функциональных микросхем существует ряд проблем, связанных с объемом тестового покрытия отдельных функциональных блоков. Это связано с функциональным классом исследуемого изделия, видом воздействующего фактора, и присущими данному классу изделий видам проявляемых эффектов и отказов. Так для статических ОЗУ характерны потеря информации при хранении, некорректная запись отдельных битов и т. д. Поэтому основной задачей разработчика тестовой оснастки для проведения испытаний является выбор оптимального объема тестирования, позволяющего задействовать максимальное количество блоков, за минимальное время.

Annotation: When testing complex-functional microcircuits, there are a number of problems related to the amount of test coverage of individual functional units. This is due to the functional class of the product under study, the type of influencing factor, and the types of effects and failures inherent in this class of products. Thus, static RAM is characterized by loss of information during storage, incorrect recording of individual bits, etc. Therefore, the main task of the developer of test equipment for conducting tests is to select the optimal amount of testing, which allows using the maximum number of blocks in the shortest possible time.

Ключевые слова: испытания микросхем, запоминающее устройство, ячейка памяти, функциональный контроль, управляющий сигнал.

Keywords: microcircuit testing, storage device, memory cell, functional control, control signal.

Научная специальность: 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы.

Введение

В данной работе представлена универсальная методика тестирования статических оперативных запоминающих устройств (СОЗУ/SRAM), иллюстрированная на примере двухпортовой микросхемы Renesas. Объектом испытаний являлась микросхема 70T631, которая представляет собой высокоскоростное асинхронное двухпортовое статическое оперативное запоминающее устройство (далее – ОЗУ) объемом 256 К x 18 бит, разработанное для применения в качестве автономного двухпортового ОЗУ или в качестве компонента в конфигурации двухпортового ОЗУ MASTER/SLAVE для систем с 36-битной или более широкой шиной данных. Эта архитектура обеспечивает возможность полноскоростной и безошибочной работы без необходимости использования дополнительной дискретной логики, что значительно упрощает проектирование и интеграцию в сложные системы, такие как высокопроизводительные вычислительные схемы, оборудование, используемое для передачи, приема и обработки данных в телекоммуникационных сетях, а также для обработки аудио, видео сигналов с минимальной задержкой.

Основная часть

Микросхема 70T631 использует ячейки памяти с истинным двухпортовым доступом, что позволяет



Яньков А.И.



Мухин Е.В.



Челенко Р.М.

одновременно обращаться к одной и той же ячейке памяти. Она обеспечивает высокоскоростной доступ: для коммерческих версий – 10/12/15 нс (макс.), для промышленных – 10/12 нс (макс.) [1]. Режим RapidWrite, реализованный в микросхеме, упрощает выполнение высокоскоростных последовательных циклов записи, что критически важно для быстродействующей аппаратуры. Двойные чипы позволяют расширять глубину без необходимости в использовании внешней логики, что упрощает проектирование и стоимость системы. Микросхема IDT70T633 легко расширяет ширину шины данных до 36 бит и более, используя выбор Master/Slave при каскадировании нескольких устройств.

Кроме того, для вывода сигнала занятости на Master используется уровень V_{IH} , а для ввода сигнала

занятости на Slave — уровень V_{IL} . Микросхема также содержит флаги занятости и прерывания, а также логику арбитража портов на чипе, что обеспечивает полную аппаратную поддержку семафорного сигнализации между портами, а также возможность отслеживания микроконтроллером состояния испытываемой микросхемы. 70T631 функционирует в полностью асинхронном режиме с любого порта и имеет отдельные управляющие сигналы для мультиплексированной шины, что обеспечивает совместимость с шиной данных.

Микросхема оснащена входами режима ожидания на обоих портах и поддерживает функции JTAG, соответствующие стандарту IEEE 1149.1 в корпусах BGA-208 и BGA-256. Питание осуществляется от одного источника напряжения 2,5 В (± 100 мВ), а также имеется возможность выбора LVTTTL-совместимого питания 3,3 В (± 150 мВ) / 2,5 В (± 100 мВ) для входов/выходов и управляющих сигналов на каждом порту [1]. LVTTTL-совместимого питания имеет ряд недостатков, которые необходимо нивелировать, в системах, где необходима высокая помехоустойчивость, передача данных на большие расстояния.

Благодаря своей архитектуре и функциональным возможностям, 70T631 обеспечивает надежное и эффективное решение для современных требований к памяти. После проведенного анализа назначения микросхемы, её функциональных возможностей, а также возможностей испытательных установок и вспомогательной аппаратуры, было решено использовать метод двойного контроля. Этот метод оправдан для испытаний сложных функциональных электронных устройств, так как позволяет провести более детальную проверку наибольшего количества функциональных блоков микросхемы. Суть метода состоит в следующем: во время облучения контролируются статические параметры микросхемы, а также выполняется функциональный контроль сразу двух независимых портов памяти по заданному алгоритму [2]. В контрольных точках проводится максимально полный функциональный контроль.

Для контроля работы и измерения электрических характеристик сложно-функциональной ЭКБ необходимо использовать специализированную измерительную оснастку [3]. Для микросхемы 70T631 в процессе испытаний на стойкость к воздействию специальных факторов был разработан блок функционального контроля (далее — БФК), включающий в себя спроектированную универсальную тестирующую плату для контроля микросхем памяти. БФК состоит из микроконтроллера STM32F429BIT6, реализующий необходимые режимы тестирования, периферии, необходимой для наглядной демонстрации корректной работы микросхемы ОЗУ, и блоков взаимодействия с микроконтроллером. Печатная плата была разработана и спроектирована в Altium Designer (рис. 1). STM32F429BIT6 имеет большое количество

портов и логический уровень напряжения памяти совпадает с напряжением ядра микроконтроллера, что позволяет напрямую подключить 70T631 к STM32F429BIT6.

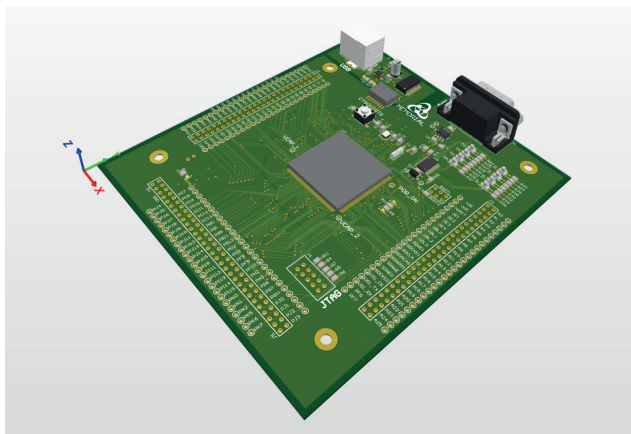


Рис. 1. Изображение 3D модели блока функционального контроля

Параметрами-критериями годности при проведении испытаний на стойкость к воздействию спецфакторов были выбраны: выходное напряжение низкого уровня U_{OL} , выходное напряжение высокого уровня U_{OH} , динамический ток потребления ядра I_{CC} , функциональный контроль по разработанному алгоритму.

Для контроля функциональности микросхемы 70T361 используется микроконтроллер и четырёхканальный осциллограф, что позволяет одновременно отслеживать несколько сигналов, параллельно отслеживанию сигналов на осциллографе записанные и считанные данные выводятся в терминал через COM-порт. Для загрузки программы, которая анализирует работу микросхемы памяти, используется интерфейс JTAG по протоколу SWD (Serial Wire Debug). Этот интерфейс позволяет загружать программу в микроконтроллер и управлять её работой, обеспечивая стабильную работу устройства. Встроенный контроллер FMC (Flexible Memory Controller) обеспечивает стабильное взаимодействие с памятью, оптимизируя доступ к данным и работу с ними.

Порты микросхемы 70T631 подключены параллельно, что значительно ускоряет передачу данных. Выбор порта для работы осуществляется с помощью управляющих сигналов CE0 и CE1, что позволяет гибко управлять процессом обмена данными между микросхемой и внешним устройством. В блоке управления реализованы функции записи и чтения, что обеспечивает надёжное взаимодействие с памятью, позволяя записывать и считывать данные в непрерывном цикле с последующей обработкой данных. Данные записываются и считываются по двум соседним адресам памяти, что позволяет организовать циклический процесс записи и чтения.

Из-за особенностей строения микросхемы 70T631, а именно наличия нестандартной 18-битной шины данных, в программе используется специальная маска для работы с такими данными. Посколь-

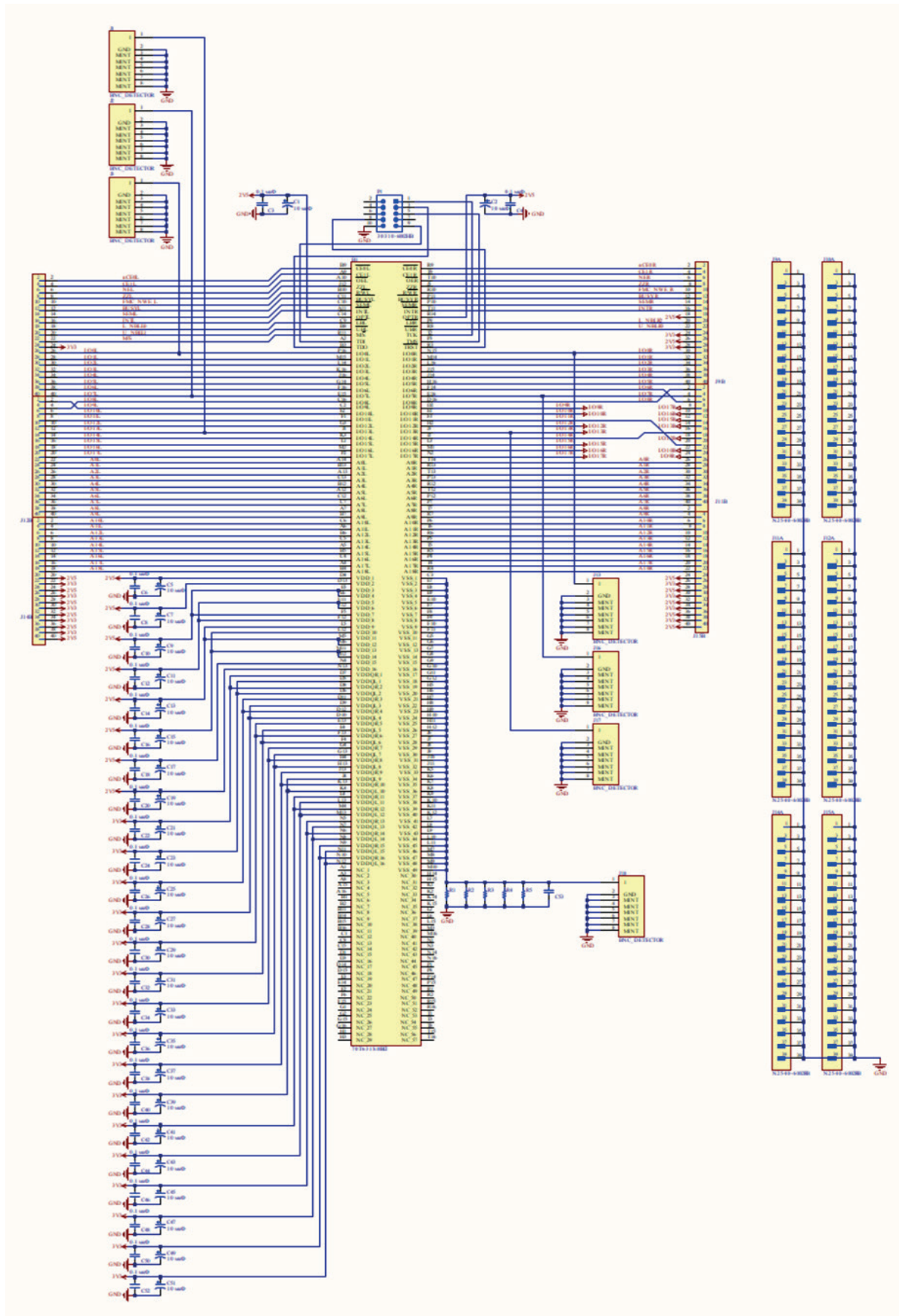


Рис. 2. Схема включения микросхем 70Т631 при испытании на стойкость к воздействию спецфакторов

ку 16-битная шина может записывать только 16 бит за раз, 18-битные данные необходимо разделить на две части: первые 16 бит записываются в первый регистр, а оставшиеся 2 бита — во второй регистр. При этом в регистре для оставшихся 2 бит все биты, не являющиеся данными, заполняются нулями.

Процесс записи данных в два 16-битных регистра выглядит следующим образом:

- из 18-битного значения извлекаются первые 16 бит, которые записываются в первый регистр;
- из оставшихся 2 бит формируется значение для второго регистра, где эти биты размещаются в старших разрядах, а остальные разряды заполняются нулями.

При чтении данных из памяти выполняется обратный процесс:

- сначала считываются первые 16 бит из первого регистра;
- затем из второго регистра извлекаются 2 старших бита, которые сдвигаются в нужные позиции для восстановления исходного 18-битного значения.

Когда записанные и считанные данные совпадают, на выводах PC4 и PC5 появляется высокий уровень сигнала, что подтверждает корректную работу системы. Этот сигнал можно наблюдать на осциллографе, где отображаются прямоугольные импульсы, подтверждающие правильность работы с данными. Также два канала осциллографа подключены к 1-му и 2-му битам шины данных, что позволяет наглядно

продемонстрировать процесс записи и чтения информации.

Схема включения микросхемы при испытании на воздействие специальных факторов приведена на рис. 2.

Контроль тиристорного эффекта проводится во время испытаний на устойчивость к воздействию определённого фактора с заданной характеристикой. Для этого используется амперметр, включённый в цепь питания микросхемы. При обнаружении тиристорного эффекта источник питания отключается вручную.

Испытания микросхем IDT70T633S12BCI на устойчивость к воздействию специальных факторов проводились с использованием специализированного оборудования, имитирующего соответствующие условия. Процесс включал контроль параметров образцов при различных температурных и электрических режимах [2].

Во время испытаний параметры работы микросхем оставались стабильными. Функциональный контроль подтвердил положительный результат после завершения испытаний. Кроме того, была проведена оценка устойчивости изделий к другим характеристикам факторов, включая термомеханические [4].

На рис. 3 приведена типовая осциллограмма контроля работоспособности во время проведения испытаний.

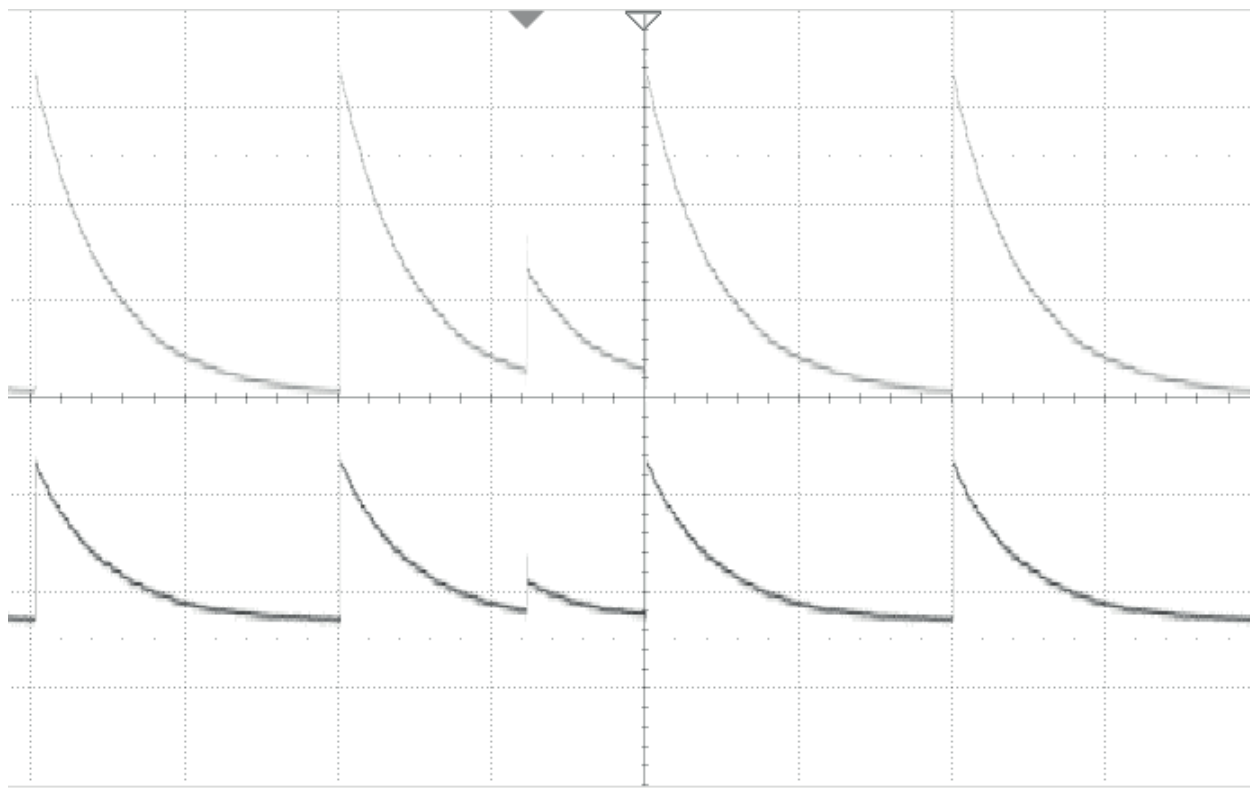


Рис. 3. Типовая осциллограмма реакции IDT70T633S12BCI на воздействие специального фактора, по горизонтали 2 мс на деление, по вертикали 2 В на деление

Литература

1. Datasheet. 70T633/1S High-Speed 2.5V 512/256K x 18 Asynchronous Dual-Port Static RAM // 2019 Renesas Electronics Corporation/.
2. Глудкин О.П. «Технология испытания микроэлементов радиоэлектронной аппаратуры и интегральных микросхем» / Глудкин О.П., Черняев В.Н. // Учебное пособие для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.
3. Погосов Г.С. «Вопросы обеспечения качества проведения испытаний электронной компонентной базы. Требования к измерительной оснастке». / Погосов Г.С.// Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2021 № 1 С. 33-34.
4. Яньков А.И. «Расчет радиационных эффектов в элементной базе». / Яньков А.И., Зольников К.В. // Моделирование систем и процессов. 2010. № 1-2. С. 91-99.

УДК: 004.93

КЛЮЧЕВЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**KEY BENEFITS OF COMPUTER VISION IN INDUSTRY**

Дормидошина Д.А. заместитель генерального директора, эксперт по стандартизации, АО «ЦКБ «Дейтон»
+7 (925) 104-77-96, dormidoshina@deyton.ru

Dormidoshina D.A. deputy General Director, expert on standardization, JSC "Central Design Office "Deyton"
+7 (925) 104-77-96, dormidoshina@deyton.ru

Аннотация: Статья посвящена роли компьютерного зрения в современном производстве, где оно решает задачи автоматизации контроля качества, снижения затрат и минимизации влияния человеческого фактора. Рассмотрены ключевые преимущества технологии, включая высокую точность, оперативность и интеграцию в производственные процессы. Описаны основные компоненты системы, такие как аппаратное обеспечение, алгоритмы обработки изображений и этапы анализа данных. Особое внимание уделено экономической выгоде внедрения компьютерного зрения, включая повышение выхода годной продукции и сокращение издержек. В заключении подчеркивается перспективность технологии в сочетании с искусственным интеллектом и интернетом вещей, что открывает новые возможности для автоматизации промышленности.

Annotation. The article is devoted to the role of computer vision in modern production, where it solves the problems of automating quality control, reducing costs and minimizing the influence of the human factor. The key advantages of the technology are considered, including high accuracy, efficiency and integration into production processes. The main components of the system, such as hardware, image processing algorithms and data analysis stages are described. Particular attention is paid to the economic benefits of implementing computer vision, including increasing the yield of good products and reducing costs. The conclusion emphasizes the prospects of the technology in combination with artificial intelligence and the Internet of Things, which opens up new opportunities for industrial automation.

Ключевые слова: изделие, дефект, брак, компьютерное зрение.

Keywords: product, defect, computer vision.

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

Введение

Современное производство сталкивается с возрастающими требованиями к точности, скорости и качеству выпускаемой продукции. В условиях высокой конкуренции и сложных технологических процессов предприятия вынуждены искать инновационные решения для оптимизации производства. Одним из таких решений стало внедрение компьютерного зрения – технологии, которая позволяет автоматизировать контроль качества, минимизировать человеческий фактор и значительно сократить издержки.



Дормидошина Д.А.

Компьютерное зрение, основанное на алгоритмах машинного обучения и обработки изображений, имитирует способность человека видеть и анализировать визуальную информацию, но с гораздо большей скоростью и точностью [1]. Эта технология находит применение в самых разных отраслях – от электроники и машиностроения до пищевой промышленности и медицины. Её ключевое преимущество заключается в способности обнаруживать даже незначительные дефекты, которые могут быть незаметны при визуальном осмотре, а также в возможности интеграции в существующие производственные линии без масштабной реконструкции.

Развитие компьютерного зрения тесно связано с прогрессом в области искусственного интеллекта (AI), больших данных (Big Data) и интернета вещей (IoT). Сегодня системы на основе этой технологии не только фиксируют отклонения, но и прогнозируют возможные сбои в производственном процессе, что позволяет предотвращать брак до его возникновения. Кроме того, они обеспечивают сбор и анализ статистических данных, что помогает предприятиям принимать обоснованные управленческие решения.

Однако внедрение компьютерного зрения требует тщательной подготовки, включая выбор подходящего оборудования, разработку специализированного программного обеспечения и обучение персонала. Несмотря на первоначальные затраты, инвестиции в эту технологию быстро окупаются за счёт снижения себестоимости продукции, увеличения выхода годных изделий и улучшения репутации компании на рынке.

В данной статье рассматриваются принципы работы компьютерного зрения, его преимущества для современного производства, а также практические аспекты внедрения этой технологии. Особое внимание уделено экономической эффективности и перспективам дальнейшего развития, включая интеграцию с другими инновационными решениями. Материал основан на актуальных исследованиях и реальных кейсах, демонстрирующих успешное применение компьютерного зрения в промышленности.

Основная часть

Роль компьютерного зрения в современном производстве

На этапах изготовления продукции предприятия сталкиваются с проблемой оптического контроля качества поверхностей и отбраковки изделий.

Компьютерное зрение обеспечивает автоматизированную оптическую инспекцию по обнаружению дефектов на поверхностях изделий и повышение выхода доли годных изделий на этапах межоперационного, выходного и входного контроля.

Использование компьютерного зрения позволяет существенно снизить затраты – и временные, и финансовые.

Основные преимущества компьютерного зрения включают в себя:

- высокую точность контроля качества – более 90 % годных изделий, что значительно превышает показатели традиционных методов контроля;
- исключение человеческого фактора – автоматизация процессов снижает вероятность ошибок, связанных с усталостью или невнимательностью операторов;
- оперативность – контроль качества в реальном времени позволяет своевременно вносить корректировки в технологический процесс, предотвращая появление брака;
- гибкость и интеграцию – системы компьютерного зрения могут быть интегрированы в существующие производственные линии, системы автоматизированного управления технологическими процессами (АСУ ТП) и системы управления производственными ресурсами (MES).

Компьютерное зрение обеспечивает не только обнаружение дефектов, но и оценку их размеров, классификацию по типам дефектов, ведение статистики, а также сохранение и выдачу результатов работы за заданный период с возможностью распечатки отчетов. Помимо контроля плоских поверхностей, с помощью компьютерного зрения может осуществляться инспекция элементов сложной формы, при этом в систему дефектоскопии интегрируются эндоскопы, волоконно-оптические световоды и системы управления механизмами поворота деталей. С помощью одной системы может быть организован комбинированный выходной контроль качества: измерения размеров, проверка сборки изделия, отсутствия внешних дефектов.

Компьютерное зрение обеспечивает:

- оценку формы изделия, бесконтактное измерение геометрических параметров изделий: линейных размеров; координат центров отверстий и их диаметров; углов между гранями и ребрами;
- обнаружение дефектов на поверхности.

Специализированное программное обеспечение производит сверку полученных данных с чертежами (геометрическими моделями) и выявляет отклонения.

При использовании компьютерного зрения отпадает необходимость выбора точки отсчета, облегчаются перпендикулярные и параллельные измерения, резко возрастает точность всех измерений. Программное обеспечение обеспечивает выявление геометрических отклонений, а также раковин, трещин, коррозии и прочих дефектов. Компьютерное зрение позволяет оперативно выявлять и устранять дефекты, корректировать размеры и проводить другие мероприятия, направленные на повышение качества изделий.

Компьютерное зрение очень похоже на наше человеческое зрение – системе нужно увидеть объект,

обработать изображение, получив с него нужную информацию, и далее управлять процессом. Если говорить в терминах, то «машинное зрение» [2, 3] – это одна из областей компьютерного зрения, нацеленная на решение промышленных задач с целью автоматизации, роботизации и аналитики. Совмещая в себе многие науки из оптики, фотоэлектроники, микропроцессорной техники, программирования и глубокого обучения машинное зрение является высокотехнологичным направлением развития искусственного интеллекта [4].

Компьютерное зрение обладает множеством преимуществ, по сравнению с традиционными методами визуального контроля, но его организация требует существенных вложений и является экономически оправданной лишь тогда, когда имеется перспектива быстрой окупаемости:

- массовое производство, требующее сквозного входного и выходного контроля и, как следствие, большого числа измерений;
- производство уникальных изделий сложной формы, также требующее множества измерений, несмотря на небольшое число продукции.

Основные составляющие компьютерного зрения

Компьютерное зрение – достаточно молодая (ее возникновение можно отнести к 1950 годам [5]) и быстро развивающаяся область научных и прикладных исследований, основной целью которых является построение систем, способных «видеть», то есть извлекать из изображений информацию об объектах внешнего мира, полезную для дальнейшего использования в рамках какого-либо приложения [6]. При этом обработка видеoinформации осуществляется на универсальных или специализированных компьютерах.

Основные составляющие компьютерного зрения и их описание:

- свет: для того чтобы что-то увидеть человеку нужен свет, камерам компьютерного зрения тоже нужна качественная подсветка объекта съемки. Подсветка – источник света, он же источник информации для камеры. Без качественного света трудно добиться результата от системы компьютерного зрения. Используют как белый 5000K, так и цветные источники, УФ, ИК, SWIR и мультиспектральные, лазерные – проецирующие линию, сетку, точки и т. д.;

- оптика: у человека есть от природы глаза, позволяющие сфокусироваться на объекте – у камеры это промышленный объектив, который необходимо «навести» на исследуемое изделие. Оптика – это подходящий под камеру объектив на нужное фокусное расстояние, может быть с изменяемой фокусировкой (жидкой линзой или приводом). Светофильтры позволяют обрезать неиспользуемые спектры излучения, затонировать изображение, убрать блики с поверхности и т. д.;

- камера: за чувствительность к свету и цвету у человеческого глаза отвечает сетчатка, в промышленной видеокамере – матрица из фотоэлементов (сенсор или светочувствительная пластина), которая установлена внутри камеры. Одна или несколько камер передает несжатую картинку высокого качества. Камеры могут иметь различные сенсоры: линейный или матричный, ToF, цветной, монохромный, 3D и т. д. Она всегда содержит ПЛИС – организующая работу камеры, позволяющая корректировать кадр, производить съемку, управлять светом и многое другое;

- датчик синхронизации – источник импульса для съемки камеры или «триггер», обычно это оптические ворота или индукционный датчик. Также устанавливают энкодеры для бесшовной съемки;

- компьютер: у человека сигнал от глаза должен перейти в мозг по зрительному нерву, в компьютерном зрении эту функцию выполняет кабель и промышленный компьютер – переносит изображение с камеры далее в программную среду. В компьютерном зрении может применяться специальная версия ПК в безвентиляторном исполнении с компонентами промышленного класса и с питанием от 12 до 24 В;

- программное обеспечение: в случае человека – его мозг, который с рождения обучается различать предметы, в промышленных задачах – это специализированное программное обеспечение, которое с использованием алгоритмов высшей математики и нейронных сетей находит на изображении нужную информацию. С помощью программного обеспечения происходит анализ изображения, используя библиотеки компьютерного зрения или готовые решения;

- управление: далее нужно управлять процессом на основе увиденного – наш мозг для этого начинает управлять руками/ногами для переключения режима работы установки, а компьютер компьютерного зрения через промышленные интерфейсы передает нужную команду. Специальные кабели-камеры обычно имеют интерфейсы USB, Ethernet, CoaXPress – для них используются кабели промышленного исполнения с усиленным экраном и вибростойкостью. Оборудование ввода-вывода – это могут быть как платы I/O, так и различные промышленные интерфейсы CAN, FieldBUS, ProfiNET, COM и т. д., соединяемые с исполнительными устройствами, сетевые карты или платы видеозахвата – так как камеры компьютерного зрения передают большой объем данных, используются специальные серверные Ethernet платы, а также frame-grabber для интерфейсов CoaXPress, CLHS и CameraLink;

- монитор или сетевые интерфейсы для контроля за работоспособностью комплекса и выбора режима работы;

- время процесса: у человека (бодрого и отдохнувшего) данные действия занимают более секунды,

в компьютерном зрении на все операции выделяется не более 50 мс. Все процессы происходят автоматически, на больших скоростях. Сценарии и условия работы могут быть совершенно различными – компьютерное зрение представляет множество решений для промышленных задач.

Некоторые элементы могут быть исключены или совмещать в себе сразу несколько пунктов, например, лазерные 3D сканеры не требуют подсветки, а смарт-камеры способны обработать изображение внутри себя без использования внешнего ПК.

Основные компоненты компьютерного зрения включают в себя:

- захват изображения: процесс получения изображений с помощью различных устройств, таких как камеры или сканеры, который служит отправной точкой для анализа;
- предобработка изображений: этап, на котором изображения очищаются и подготавливаются для дальнейшего анализа. Это может включать фильтрацию шума, коррекцию освещения и изменение размера;
- извлечение признаков: процесс выделения ключевых характеристик из изображений, таких как границы, текстуры и формы, что позволяет облегчить последующий анализ;
- классификация: этап, на котором объекты на изображении идентифицируются и классифицируются с использованием алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта;
- сегментация: процесс разделения изображения на отдельные области или объекты, что позволяет более точно анализировать содержимое;
- анализ и интерпретация: заключительный этап, на котором извлеченные данные анализируются для получения полезной информации или принятия решений на основе результатов.

Каждый из этих компонентов играет важную роль в создании эффективных систем компьютерного зрения.

Экономическая выгода компьютерного зрения для современного производства

Стоимость компьютерного зрения зависит от производственных задач [7, 8]: от считывания штрихкодов до узкоспециализированных проверок качества изделий и своевременного обнаружения неисправностей и брака.

Внедрение компьютерного зрения состоит из двух частей – выбора и установки аппаратной части и написания программного обеспечения. В качестве аппаратной части в основном используются камеры, но могут применяться и лидары, радары и другие датчики. В качестве ПО – набор нейросетевых алгоритмов и машинное обучение [9] для распознавания и обнаружения объектов, дефектов и др. Обнаружение дефектов в конце производственного процесса или

после доставки заказчику приводит к увеличению производственных затрат. Эти потери сравнительно намного выше, чем стоимость внедрения системы обнаружения дефектов КЗ на базе искусственного интеллекта. Приложение на базе компьютерного зрения собирает данные в реальном времени с камер и с помощью алгоритмов машинного обучения, анализирует потоки данных и на основе заранее определенных стандартов качества обнаруживает дефекты и предоставляет процент отклонения. На основе таких данных можно проследить сбой в производственном процессе. Также компьютерное зрение позволит:

- повысить уровень выпуска годных изделий до 96 %, (в настоящее время на некоторых предприятиях–изготовителей изделий – составляет менее 45 %);
- уменьшить материальные затраты на выпуск продукции до 20 %;
- сократить время на изготовление изделий до 40 %;
- обеспечить проведение анализа работы технологического оборудования изготовителя на предмет определения причин, вызывающих брак;
- обеспечить своевременную поставку потребителям требуемого объема качественной продукции, получение репутации надежного производителя и поставщика.

Парадигма компьютерного зрения: дорогая система с множеством функций будет долго окупаться, если ее возможности не будут востребованы в условиях существующего производственного процесса, и наоборот – бюджетное устройство может не справиться с поставленными задачами. Для решения задач необходимо провести маркетинговые исследования, сопоставить производственные проекты с функциональностью систем, рассчитать капитальные вложения и период окупаемости.

Заключение

Внедрение компьютерного зрения в процессы контроля качества изделий электронной техники представляет собой значительный шаг вперед в автоматизации производства. Как показано в статье, использование компьютерного зрения позволяет не только повысить точность и скорость контроля, но и значительно снизить влияние человеческого фактора, что особенно важно в условиях массового производства и изготовления изделий.

Кроме того, компьютерное зрение предоставляет дополнительные возможности, такие как классификация дефектов, ведение статистики и автоматическая генерация отчетов, что упрощает анализ производственных процессов и позволяет оперативно реагировать на возникающие проблемы.

Однако внедрение компьютерного зрения требует значительных инвестиций как в аппаратное обеспечение (камеры, датчики, компьютеры), так и в разработку специализированного программного обеспе-

чения. Экономическая эффективность таких систем зависит от масштабов производства и сложности задач, которые необходимо решить. В условиях массового производства или при изготовлении уникальных изделий, где требуется большое количество измерений, внедрение компьютерного зрения может быть экономически оправданным и быстро окупаемым.

Важно отметить, что успешное внедрение компьютерного зрения требует тщательного анализа производственных процессов, выбора подходящих технологий и оборудования, а также разработки эффективных алгоритмов обработки изображений. В этом контексте ключевое значение имеют маркетинговые исследования и расчеты капитальных вложений, которые позволят определить оптимальные решения для конкретного предприятия.

В заключении можно отметить, что компьютерное зрение является мощным инструментом для повышения качества продукции, снижения затрат и увеличения производительности. Его применение открывает новые возможности для автоматизации производства, особенно в условиях растущих требований к точности и сложности изделий. В будущем, с развитием технологий искусственного интеллекта и машинного обучения [10], компьютерное зрение станет еще более эффективным и доступным, что позволит еще больше ускорить процессы автоматизации в различных отраслях промышленности.

С развитием технологий искусственного интеллекта и машинного обучения, компьютерное зрение будет становиться все более точным и адаптивным. Уже сегодня активно разрабатываются алгоритмы, способные не только обнаруживать дефекты, но и предсказывать их появление на основе анализа данных с производственных линий. Это открывает новые возможности для контроля качества и оптимизации производственных процессов.

Кроме того, интеграция компьютерного зрения с другими технологиями, такими как интернет вещей (IoT) и большие данные (Big Data), позволит создавать более сложные и интеллектуальные системы управления производством. Это может привести к созданию полностью автономных производственных линий, где все процессы, от контроля качества до управления оборудованием, будут осуществляться автоматически с минимальным вмешательством человека.

Таким образом, компьютерное зрение не только решает текущие задачи контроля качества, но и от-

крывает новые горизонты для развития промышленности, делая производство более эффективным, гибким и конкурентоспособным.

Литература

1. Рубцов Ю.В., Малышев В.Э., Назаренко А.А. «Автоматизированный визуальный контроль качества изделий микроэлектроники методом сравнения шаблонов» // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2024. № 1. С. 18-21.
2. Павлова А. «Машинное зрение повышает эффективность производственных процессов» // Российская газета – 2022 – URL: <https://rg.ru/2022/09/21/etot-glaz-vsegda-almaz.html?ysclid=m8hckytw6k868669844> (дата обращения: 23.06.2025).
3. 8 кейсов использования компьютерного зрения на производстве // Smartgopro – 2021 – URL: <https://smartgopro.com/novosti2/computervision/?ysclid=lu0vomskkn939165244> (дата обращения: 15.06.2025).
4. Брокман Д. «Что мы думаем о машинах, которые думают: Ведущие мировые учёные об искусственном интеллекте» // М.: Альпина нон-фикшн, 2017. 548 с.
5. Dobson J. E. The Birth of Computer Vision // Univ Of Minnesota Press. 2023. 224 p.
6. Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. «Компьютерная обработка и распознавание изображений» // Учеб. пособие. СПб: СПбГУ ИТМО. 2008. 195 с.
7. Булгаков О.Ю. «Научно-методический подход к обоснованию постановки научной задачи развития радиоэлектронной промышленности и её подсистем» // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2024. № 1. С. 10-15.
8. 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.
9. Samuel A. Early Machine Learning and Checkers Program // Robots Authority – 2024 – URL: <https://robotsauthority.com/arthur-samuel-early-machine-learning-and-checkers-program/> (дата обращения: 15.06.2025).
10. Turing A. M. Computing Machinery and Intelligence // Mind, New Series, Oxford University Press. 1950. № 236. Pp. 433–460.

УДК 006.91

ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ХРАНЕНИЯ БЕСКОРПУСНЫХ МИКРОСХЕМ ПРИ СОЗДАНИИ СТРАХОВЫХ ЗАПАСОВ

STORAGE DURATION BODYLESS MICROCIRCUITS WHEN CREATING INSURANCE STOCKS

Петушков А.С., директор аналитического центра ПАО «Элемент»,
+ 7 (909) 973-96-96, a.petushkov@elementec.ru

Petushkov A.S., director of the Analytical Center PJSC "Element",
+ 7 (909) 973-96-96, a.petushkov@elementec.ru

Аннотация: Разработаны процедуры формирования страховых запасов бескорпусных изделий полупроводниковой электронной компонентной базы, ориентированных на обеспечение бесперебойного изготовления комплектующей ими радиоэлектронной аппаратуры в условиях их морального износа, включая процедуры обеспечения прослеживаемости изделий по всему их жизненному циклу.

Annotation: Procedures have been developed for the formation of insurance reserves of non-housed semiconductor electronic components, which are aimed at ensuring the uninterrupted production of radio electronic equipment that is equipped with these components in the event of their obsolescence, including procedures for ensuring the traceability of these components throughout their entire life cycle.

Ключевые слова: исследование, микросхема, хранение, бескорпусная микросхема, страховой запас.

Keywords: research, chip, storage, chip-scale package, insurance reserve.

Научная специальность: 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии. 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Введение

Целью научно-исследовательской работы «Исследования и разработка требований к правилам, срокам и условиям длительного хранения пластин с кристаллами полупроводниковой электронной компонентной базы, обеспечивающим соответствие конечной продукции эксплуатационным требованиям и требованиям надежности», шифр «Хранение», (далее – НИР) являлась разработка процедур формирования страховых запасов бескорпусной полупроводниковой ЭКБ для бесперебойного изготовления комплектующей РЭА по результатам длительного хранения, а также процедур прослеживаемости изделий по всему их жизненному циклу. Разработка проекта стандарта «Микросхемы интегральные бескорпусные. Приборы полупроводниковые бескорпусные. Требования к порядку, условиям и длительности хранения», планируемого к включению в состав государственных военных стандартов ГОСТ РВ.

Основная часть

Проведен анализ реальных значений длительности потребления типовых представителей изделий полупроводниковой электронной компонентной базы (реальных сроков использования для комплектования радиоэлектронной аппаратуры) с идентичными значениями функциональных, эксплуатационных и конструктивных характеристик.



Петушков А.С.

Разработаны критерии и выбраны типовые представители изделий полупроводниковой электронной компонентной базы. Исследованы механизмы деградации функциональных и эксплуатационных характеристик бескорпусных изделий полупроводниковой ЭКБ различного конструктивно-технологического исполнения в различных условиях длительного хранения.

Разработаны процедуры формирования страховых запасов бескорпусных изделий полупроводниковой ЭКБ, ориентированных на обеспечение бесперебойного изготовления комплектующей ими РЭА в условиях их морального износа, включая процедуры обеспечения прослеживаемости изделий по всему их жизненному циклу.

Разработан проект стандарта «Микросхемы полупроводниковые бескорпусные. Приборы полупроводниковые бескорпусные. Требования к порядку, условиям и длительности хранения».

Областью применения результатов работы является сфера оборонно-промышленного комплекса – организации и предприятия, занимающиеся разработкой, производством ЭКБ и РЭА военного, специального и двойного назначения, Департамент радиоэлектронной промышленности Минпромторга России, а также другие федеральные органы исполнительной власти Российской Федерации, заинтересованные в создании ЭКБ и РЭА.

В результате решения задач, поставленных в ТЗ на НИР, получены следующие результаты:

1. Проведен анализ требований отечественных и зарубежных нормативных документов к срокам и условиям хранения бескорпусных изделий полупроводниковой ЭКБ, и установлено:

- отечественные НД не предусматривают длительное (более 1-1,5 года) хранение бескорпусных изделий. В то же время имеется практика поставки по отдельным согласованным Решениям микросхем с использованием кристаллов с превышающими указанные сроки хранения;

- основным зарубежным НД, регламентирующим длительность хранения бескорпусной ЭКБ, являются «Руководящие указания по длительному хранению пластин, кристаллов и изделий полупроводниковой электроники» JEP-160 Ассоциации технологий электронной промышленности JEDEC. Документ дает рекомендации по выбору методов минимизации деградационных процессов и парирования связанных с ними эффектов старения [1].

Сроки хранения бескорпусной ЭКБ устанавливаются зарубежными фирмами-производителями в «Руководствах по хранению кристаллов». Хранение при температуре от 15 °C до 30 °C и в сухом азоте срок хранения разные фирмы устанавливают от 6 до 15 лет. Фирма XFAV (ФРГ) срок хранения продукции в виде пластин с кристаллами в этих условия вообще не ограничивает. При этом контроль условий и сроков хранения является ответственностью фирмы-изготовителя до момента доставки потребителю, после – становится ответственностью потребителя.

2. Проведен анализ информации отечественных предприятий-изготовителей: ведущего производителя бескорпусных и корпусированных изделий полупроводниковой ЭКБ - ПАО «Микрон» и предприятий, изготавливающих свои изделия в режиме «фаундри» – АО «НИИЭТ», АО «ВЗПП-С», АО «КТЦ «Электроника», о возможных сроках и условиях хранения их продукции при условии сохранения ее функциональных и эксплуатационных характеристик, в том числе показателей надежности.

Установлено, что предприятиями по согласованным Решениям было поставлено 4043 партии полупроводниковой ЭКБ с 1,8 млн. штук кристаллами длительного хранения в управляемой среде инертного газа с течением от 1,5 года до 10 лет. Из них: 57 % с кристаллами со сроком хранения до герметизации

до 3 лет; 25 % - от 3 до 5 лет; 9 % - от 5 до 7 лет; 9 % - от 7 до 10 лет.

Все поставляемые партии изделий проходили дополнительные испытания: контроль внешнего вида пластин, контроль свариваемости выводов, электротермотренировку с увеличенной длительностью на время от 48 до 96 часов в зависимости от срока хранения пластин и категории качества изделий (ВП или ОСМ). Отказов на испытаниях и рекламаций, связанных с длительным хранением кристаллов, не зафиксировано, процент брака при измерении параметров после электротермотренировки не превышал значений, установленных ОТУ на группы однородной продукции, процент выхода годных соответствовал установленным плановым значениям.

3. На основе обобщения опыта изготовления ЭКБ с использованием полупроводниковых пластин с кристаллами, находившихся на длительном хранении за пределами нормативных сроков, сформулированы критерии возможности и целесообразности дальнейшего распространения этой практики, увеличения предельно-допустимых сроков хранения пластин с кристаллами заказанных элементов, определены две группы типовых представителей полупроводниковых приборов и микросхем интегральных для проведения исследований с целью корректировки сроков хранения в действующей НД.

Целесообразность увеличения сроков хранения пластин с кристаллами заказанных элементов во многом определяется длительностью нахождения типов изделий в «Перечне электронной компонентной базы, разрешенной для применения при разработке, модернизации, производстве и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники» (далее – Перечне ЭКБ) [2].

В результате анализа Перечня ЭКБ определены следующие реальные сроки нахождения в нём полупроводниковой ЭКБ:

- полупроводниковые приборы: 44 % – до 10 лет, 43 % – от 10 до 20 лет, 13 % – более 20 лет. Среднее значение – 11,5 лет, максимальное – 38 лет;

- интегральные микросхемы: 78,0 % – до 10 лет, 18 % – от 10 до 20 лет, 4 % – более 20 лет. Среднее значение – 7,8 года, максимальное – 26 лет.

4. Проведен анализ номенклатуры и характеристик полупроводниковых материалов, используемых в бескорпусных изделиях полупроводниковой ЭКБ, включая характеристики изменения их физико-химических свойств. Результаты проведенного анализа показали возможность длительного хранения бескорпусных изделий полупроводниковой ЭКБ при использовании методов, позволяющих минимизировать влияние эффектов деградации структур, связанных со старением при хранении.

5. Проведены исследования влияния различных условий хранения на механизмы и скорость деградации функциональных и эксплуатационных харак-

теристик бескорпусных изделий полупроводниковой ЭКБ, в том числе, с применением методов ускоренных испытаний на сохраняемость и установлено:

- основные деградационные механизмы, представляющие реальную опасность для качества хранящейся бескорпусной полупроводниковой ЭКБ при длительном хранении:

- механизмы коррозионного разрушения алюминиевой и медной металлизации на поверхности кристалла под влиянием атмосферы повышенной влажности и поверхностных загрязнений;

- механизмы окисления алюминиевой и медной металлизации на поверхности кристалла под влиянием атмосферы повышенной влажности и поверхностных загрязнений, без ее разрушения;

- механизмы миграции металлов межсоединений кристалла под влиянием внутренних напряжений;

- механизмы, приводящие к потере информации в энергонезависимой памяти.

- в результате проведенных расчетов скорости деградации изделий бескорпусной полупроводниковой ЭКБ при сочетании разных значений влажности и температуры (основных определяющих длительность срока хранения факторов) установлено, что скорость деградации при относительной влажности от 5 % до 30 % и в диапазоне температур от 15 °C до 30 °C практически не изменяется и для различных механизмов деградации имеет порядок в пределах $10^{-9} - 10^{-13}$;

- проведены ускоренные испытания на сохраняемость кристаллов в составе пластины, а также корпусированной полупроводниковой ЭКБ. После проведения испытаний на сохраняемость изделия прошли оптический визуальный контроль и процедуру разрушающего физического анализа. В результате проведенных испытаний подтверждены значения сроков сохраняемости, установленные в НД на изделия.

По результатам испытаний оценен гамма-процентный срок сохраняемости бескорпусных изделий полупроводниковой ЭКБ в условиях хранения при относительной влажности от 5 % до 30 % и в диапазоне температур от 15 °C до 30 °C – более 15 лет, а корпусированной ЭКБ – 26 лет в условиях отапливаемого хранилища.

6. Разработаны критерии выбора типовых представителей бескорпусной полупроводниковой ЭКБ для проведения исследований:

- изделия должны иметь сроки хранения, которые превышают установленные в существующей нормативно-технической документации сроки (более 18 месяцев);

- изделия должны иметь прозрачную историю хранения (условия хранения, не подвергаться нештатным воздействиям или такие воздействия были и они зафиксированы);

- изделия должны быть изготовлены по различ-

ным топологическим нормам и технологическим процессам;

- изделия должны изготавливаться с применением различных изолирующих и защитных окислов;

- изделия должны иметь различную металлизацию.

На основе разработанных критериев для проведения экспериментальных исследований отобраны 12 типов изделий полупроводниковой ЭКБ, изготовленных в 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 и 2017 годах с топологическими нормами 0,18; 1,2 и 2 мкм по технологиям КМОП и EEPROM.

Экспериментальные исследования проведены с использованием стандартизованных и разработанных в работе методик. Проведенные экспериментальные исследования типовых представителей показали возможность увеличения установленных в нормативных документах сроков хранения бескорпусной полупроводниковой ЭКБ при хранении в шкафах защитной атмосферы с температурой от 15 °C до 30 °C и относительной влажностью не более 30 %.

7. С применением расчетно-экспериментальных методов оценки определены:

- оптимальные условия хранения бескорпусных изделий полупроводниковой ЭКБ: хранение в инертной среде при относительной влажности от 5 % до 30 % и в диапазоне температур от 15 °C до 30 °C;

- установлены предельные значения сроков хранения изделий различного конструктивно-технологического исполнения при хранении в оптимальных условиях – 10 лет.

8. Разработаны технические требования к автоматизированным средствам технологического оснащения для хранения бескорпусных изделий полупроводниковой ЭКБ как в составе пластин, неразделенных на кристаллы, так и в виде отдельных кристаллов, включая средства загрузки/выгрузки и технологическую тару. Разработаны предложения по разработке/приобретению такого оборудования:

Предложены два варианта реализации хранения бескорпусной полупроводниковой ЭКБ с созданием оптимальных условий для хранения: на основе шкафов защитной атмосферы (далее – ШЗА) и на основе емкостей защитной атмосферы (далее – ЕЗА). Разработана эскизная конструкторская документация на основные составляющие технологического оборудования на основе ЕЗА.

Общая сумма стартовых затрат для организации на площади 45 м² при обоих вариантах хранения приблизительно одинаковы и составляют около 12 млн. рублей. Эксплуатационные расходы при организации хранения на основе ЕЗА на 30 % меньше, чем на основе ШЗА. Выбор вариантов хранения в каждом конкретном случае должен быть сделан заинтересованным предприятием с учетом длительности хранения и затрат на него.

Заключение

Разработан проект военного стандарта «Микросхемы полупроводниковые бескорпусные. Приборы полупроводниковые бескорпусные. Требования к порядку, условиям и длительности хранения». Стандартом регламентируются процедуры формирования страховых запасов бескорпусных изделий полупроводниковой электронной компонентной базы, ориентированных на обеспечение бесперебойного изготовления комплектующей ими радиоэлектронной аппаратуры в условиях их морального износа, включая процедуры обеспечения прослеживаемости изделий по всему их жизненному циклу. Установлены требования к условиям и срокам хранения, требования к мониторингу хранения, контроля качества пластин и кристаллов перед использованием в производстве. Определен состав дополнительных испытаний: контроль поверхности пластин и кристаллов (метод 405-1.1 ГОСТ РВ 5962 004.4) [3]; проверка на свариваемость (метод 109-4 ГОСТ РВ 5962-004.1) [4], контроль прочности крепления кристалла к монтажной площадке (испытание на сдвиг – новый метод). Для приборов с кристаллами длительного хранения увеличено время электротермотренировки в зависи-

мости категории качества (ВП или ОСМ) на 48 и 96 часов.

Разработанный стандарт может быть реализован в форме стандарта организации ФГБУ «ВНИИР». Значение длительности хранения полупроводниковой ЭКБ в стандарте может быть установлено после рассмотрения результатов экспериментальной оценки подтверждения требований безотказности.

Литература

1. JEDEC JEP160 «Long-Term Storage for Electronic Solid-State Wafers, Dice, and Devices» november 2011.
2. Перечень электронной компонентной базы, разрешенной для применения при разработке, модернизации, производстве и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники. Перечень ЭКБ 02-2017. ФГУП «МНИИРИП».
3. ГОСТ РВ 5962 004.4 «Изделия электронной техники. Микросхемы интегральные. Методы испытаний. Методы визуального контроля».
4. ГОСТ РВ 5962-004.1 «Микросхемы интегральные. Методы испытаний. Испытания на воздействие механических факторов».

УДК 621.3.029.6

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ LTCC ПЛАТ И МОДУЛЕЙ НА ИХ ОСНОВЕ ИЗ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING MULTILAYER CERAMIC LTCC PLATES AND MODULES BASED ON THEM FROM DOMESTIC MATERIALS

Гладышева М.П., начальник научно-исследовательской группы по разработке технологий изготовления многослойных керамических плат, **Колпакова Е.В.**, ведущий инженер-технолог научно-исследовательской группы по разработке технологий изготовления многослойных керамических плат, **Орехов Д.Е.**, инженер-технолог 1 категории научно-исследовательской группы по разработке технологий изготовления многослойных керамических плат, **Мягкова Ю.С.**, инженер-технолог 3 категории научно-исследовательской группы по разработке технологий изготовления многослойных керамических плат, Филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» «НИИИС им. Ю.Е. Седакова», +7 (831) 469-56-29, vsergeev@niiis.nnov.ru

Gladysheva M.P., head of the research group for the development of technologies for the manufacture of multilayer ceramic board, **Kolpakova E.V.**, leading technology engineer of the research group for the development of technologies for the manufacture of multilayer ceramic board, **Orekhov D.E.**, technology engineer of the 1st category of the research group for the development of technologies for the manufacture of multilayer ceramic board, **Myagkova Yu.S.** technology engineer of the 3st category of the research group for the development of technologies for the manufacture of multilayer ceramic board., Branch of FSUE «RFNC-VNII EF» «Yu. E. Sedakov Research of Physics and Technology», +7 (831) 469-56-29, vsergeev@niiis.nnov.ru

Аннотация: Статья рассматривает результаты исследований технологии изготовления многослойных керамических плат и модулей на их основе из системы отечественных LTCC-материалов. В работе предложены новые технологические решения для изготовления многослойных керамических плат с полостями сложной формы, разработан процесс формирования торцевой металлизации, подобран оптимальный режим обжига, позволяющий получить требуемую плоскостность, и определена зависимость коэффициента усадки образцов многослойных керамических плат от температуры, позволяющая получить заданные геометрические

размеры изделия. Разработанная технология успешно применяется для создания систем автоматики, систем навигации нового поколения с повышенной надежностью, увеличенным функционалом и уменьшенными массогабаритными характеристиками. По разработанной технологии изготовлены многослойные керамические платы базового навигационного модуля бортовой аппаратуры спутниковой навигации и немагнитный корпус малогабаритного магниторезистивного преобразователя на АМР эффекте с характеристиками на уровне зарубежных аналогов.

Annotation: The article examines the results of research on the technology of manufacturing multilayer ceramic boards and modules based on them from the system of domestic LTCC materials. The paper proposes new technological solutions for the manufacture of multilayer ceramic boards with complex cavities, develops a process for forming end metallization, selects the optimal firing mode to obtain the required flatness, and determines the dependence of the shrinkage coefficient of multilayer ceramic board samples on temperature, allowing to obtain specified geometric dimensions of the product. The developed technology is successfully used to create automation systems, navigation systems of a new generation with increased reliability, increased functionality and reduced weight and dimensional characteristics. According to the developed technology, multilayer ceramic boards of the basic navigation module of the onboard satellite navigation equipment and a non-magnetic housing of a small-sized magnetoresistive converter based on the AMP effect with characteristics at the level of foreign analogues were manufactured.

Ключевые слова: многослойная керамическая плата, технология низкотемпературного совместно спекаемой керамики (Low Temperature Co-firing Ceramic – LTCC), технология LTCC, LTCC-материалы, LTCC-модуль, пробивка, торцевая металлизация, ламинирование, полость, обжиг.

Keywords: multilayer ceramic board, low-temperature co-firing technology, LTCC technology, LTCC materials, LTCC module, punching, end metallization, lamination, cavity, firing.

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



Гладышева М.П.



Колпакова Е.В.



Орехов Д.Е.



Мягкова Ю.С.

Введение

В настоящее время технологии изготовления миниатюрных модулей находят активное применение для создания новых типов электронной и радиоэлектронной аппаратуры и миниатюризации существующей микроэлектронной продукции.

Особенно эффективной для создания миниатюрных модулей выглядит технология низкотемпературной совместно спекаемой керамики (Low Temperature Co-firing Ceramic – LTCC).

Многослойная керамическая плата (далее – МКП), выполненная по технологии LTCC, представляет собой пакет слоев (возможно до 40 слоев) из сырой керамической пленки с нанесенными на каждый из них проводниковыми, резистивными и диэлектрическими рисунками. Нанесение рисунков выполняется методом трафаретной печати. Электрические соединения между слоями осуществляется через переходные отверстия, заполняемые проводниковой пастой. Собранные в пакет слои ламинируются путем изостатического прессования.

При низкотемпературном обжиге пакета происходит одновременное вжигание паст и образование монолитной многослойной структуры. После монтажа навесных компонентов методами пайки, сварки, приклеивания получают функционально законченный электронный модуль [1].

Важнейшей частью LTCC систем являются проводниковые пасты, совместимые с низкотемпературной керамикой. Совместный обжиг спрессованных слоев плат на воздухе при температуре не выше 900 °С дает возможность использования проводниковых паст на основе благородных металлов (серебро, золото, палладий), имеющих высокую электропроводность. Это в свою очередь существенно улучшает параметры микроэлектронных устройств.

Основными достоинствами LTCC технологии являются [2]:

- проектирование и производство 3-D конструкций;
- возможность размещения пассивных компонентов внутри подложки, что уменьшает размер конту-

ров более чем на 50 %, по сравнению с печатными платами;

- технологичность (каждый слой контролируется до сборки модуля и, при необходимости, может быть заменен, что повышает процент выхода годных изделий);

- сокращение производственных циклов по сравнению с обычными толстопленочными технологиями;

- автоматизация технологического процесса;

- температура обжига порядка 850 °С позволяет применять материалы с малым удельным сопротивлением, такие как золото и серебро (для LTCC), вместо молибдена и вольфрама, которые используются в технологии высокотемпературного обжига (HTCC);

- возможность вырезания ленты/подложки любой формы.

Созданные по технологии LTCC высоко интегрированные радиоэлектронные устройства обладают высокой надежностью, добротностью и малыми потерями, стойкостью к внешним воздействующим факторам. Благодаря перечисленным достоинствам LTCC технология успешно применяется для изготовления миниатюрных электронных модулей, позволяющих совмещать в одном корпусе разнородные функциональные узлы [1].

LTCC-технология в настоящее время определяется как прорывная технология в области создания компактных высокоинтегрированных радиоэлек-

тронных устройств.

Целью работы являлась разработка технологии изготовления многослойных керамических плат и модулей на их основе из системы отечественных LTCC-материалов.

Основная часть

Разработка технологии изготовления МКП и модулей на их основе из системы отечественных LTCC-материалов проводилась в филиале ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ» «НИИИС им. Ю.Е. Седакова» (далее – НИИИС) на имеющейся линейке современного технологического оборудования.

В настоящее время в связи с санкционными ограничениями поставки импортных материалов исследования данной технологии является чрезвычайно актуальным.

Отечественная система материалов LTCC разрабатывалась как аналог LTCC материалов фирмы DuPont (США) и представляет собой: стеклокерамический материал марки СКМ, выпускаемый предприятием АО «НПП «Исток» (г. Фрязино Московской области), и проводниковые пасты – ООО «НПП «ДЕЛЬТА-ПАСТЫ» (г. Москва).

В таблице 1 приведены основные свойства стеклокерамического материала СКМ в сравнении с керамикой Green Tape™ 951 фирмы DuPont [3-5].

Таблица 1

Сравнение параметров керамики СКМ и Green Tape

Параметр	Тип керамики	
	СКМ	Green Tape 951
Толщина пленки, мкм	50 ± 10; 100 ± 10; 150 ± 15; 200 ± 15; 250 ± 20	951PT 114 ± 18; 951P2 165 ± 18; 951PX 254 ± 18
Диэлектрическая постоянная, ε	(6,8 - 7,0) на 20 ГГц	7,8 на 10 ГГц
Тангенс угла диэлектрических потерь, tgδ	0,0015 на 20 ГГц	0,0015 на 10 ГГц
Объемное удельное электрическое сопротивление при 100 В, Ом · см	1×10 ¹²	1×10 ¹²
Напряжение пробоя, кВ/мм	≥ 10	> 40
Усадка (X,Y), %	9,1 ± 0,3	12,7 ± 0,3
Плотность, ρ _v , г/см ³	2,8	3,1
Кривизна поверхности, мкм/см	25	< 20
Механическая прочность при статическом изгибе, МПа	200	320
Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР, α×10 ⁻⁶ м/°С	5.0 - 7.0	5,8

При сравнении свойств видно, что керамика СКМ в основном не уступает керамике Green Tape 951.

Отличительной особенностью проводниковых паст отечественного производства можно считать нестабильность их реологических свойств и вязкости за счет быстрого испарения растворителя. Этот факт приводит к необходимости более частого проведения операции подготовки пасты в процессе трафаретной печати.

В связи с усложнением конструкций модулей на основе многослойных керамических плат, а именно появлением полостей сложной формы: «Г-образной» и «Т-образной», потребовалась разработка новых технологических решений в ходе выполнения операций пробивки и ламинирования.

В процессе проведения операции пробивки полостей «Г-образной» и «Т-образной» формы в области внутреннего угла полостей происходили вырывы керамики. Для устранения этого дефекта разработана новая программа пробивки, позволяющая сформировать между полостями технологическую перемычку, как показано на рис. 1. После пробивки полостей перемычка удаляется вручную.



Рис. 1. Внешний вид полостей, разделенных перемычкой

Таким образом, измененный способ пробивки позволил избежать дефектов во внутренних углах полостей.

Еще одной проблемой изготовления образцов МКП с полостями сложной формы является их деформация в процессе изостатического ламинирования, а именно выгибание стенок на 90 – 100 мкм. Для устранения данного дефекта были проведены работы по возможности использования специальных вкладышей, изготовленных по форме полости.

В результате исследований был выбран материал вкладыша, который не деформировался и полностью восстанавливал форму после ламинирования. Отливку вкладышей проводили в специально изготовленной форме. Перед операцией ламинирования в полость керамической заготовки укладывали изготовленный вкладыш (рис. 2), сверху на заготовке размещали две покрывные пластины. Далее собранную конструкцию вакуумировали в двух металлизированных пакетах, затем проводили процесс ламинирования.

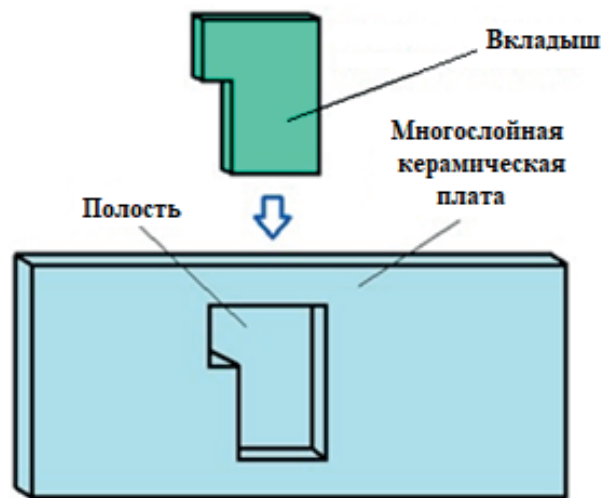


Рис. 2. Схема укладки вкладыша в керамическую заготовку

Визуальный осмотр керамических образцов показал отсутствие деформации дна полостей, выгиб стенок наружу уменьшился со 100 до 50 мкм.

Таким образом, для изготовления МКП с полостями сложной формы были приняты следующие технологические решения:

- пробивку полостей осуществлять по периметру, оставляя технологические перемычки, которые впоследствии удаляются;
- при ламинировании использовать дополнительные вкладыши по форме, соответствующие форме полости МКП, и покрывные пластины.

Все это позволило изготавливать многослойные керамические платы толщиной до 5 мм с полостями сложной формы глубиной до 3 мм.

Одной из отличительных особенностей изделий, изготовленных по LTCC-технологии, является то, что МКП может быть одновременно платой и корпусом. Вследствие чего, многослойная керамическая плата должна иметь торцевую металлизацию.

При решении задач по разработке технологии изготовления МКП с торцевой металлизацией потребовались дополнительные исследования следующих операций: формирования торцевых отверстий, заполнения их проводниковой пастой.

Чаще всего торцевая металлизация выполняется путем заполнения проводниковой пастой соосных отверстий. В процессе резки МКП на модули $\frac{1}{2}$ отверстий «отсекается», оставшаяся часть отверстий и образует торцевую металлизацию.

Торцевая металлизация может формироваться, как в спеченной МКП, так и в «сырой» керамике. В спеченной керамике формирование торцевых отверстий на нашем предприятии осуществляется вручную, а именно, паста наносится на обожженный образец с помощью иглы с использованием микроскопа. Этот процесс достаточно кропотливый и трудоемкий.

В «сырой» керамике металлизация торцевых отверстий, как и переходных, проводится послойно с последующим ламинированием заготовки.

В работе проведены исследования, в результате которых определена оптимальная вязкость пасты для заполнения переходных и торцевых отверстий через специальный трафарет на установке заполнения отверстий и разработан маршрут для изготовления МКП с торцевой металлизацией.

В работе решалась также задача по обеспечению плоскопараллельности и улучшению геометрии боковых сторон образцов многослойных керамических плат за счет определения оптимального значения нагрузки и способа размещения нагрузки в процессе обжига.

Выбор веса нагрузки зависит от конструкции обжигаемых образцов, их толщины, наличия полостей, равномерности распределения металлизации. Увеличение толщины образцов и количества металлизации требует увеличения нагрузки для получения приемлемой плоскопараллельности образцов. Проведенные исследования позволили определить вес необходимой нагрузки для ряда номенклатуры МКП.

При исследовании технологии изготовления МКП из керамики СКМ замечен положительный фактор, заключающийся в возможности коррекции коэффициента усадки путем изменения профиля обжига. Возможность изменения коэффициента усадки в процессе обжига позволяет получить наиболее точные габаритные размеры образцов многослойных керамических плат.

Профиль обжига образцов МКП состоит из нескольких стадий. На первой стадии происходит нагрев

образца, на второй - выжигание основной массы органической связи. Выжигание остатка связи продолжается при дальнейшем подъеме температуры до начала плавления стекла. На этих стадиях преследуется главная цель – добиться полного удаления связи. На следующих стадиях расплавленное стекло взаимодействует с керамическим наполнителем и частично кристаллизуется, в результате чего формируется плотная структура керамики с необходимыми электрофизическими свойствами. Скоростью подъема температуры на этих стадиях можно сдерживать или интенсифицировать процессы плавления стекла, а также кристаллизацию, как самого стекла, так и продуктов его взаимодействия с наполнителем и таким способом регулировать усадку керамики. Затем происходит выдержка при пиковой температуре. Охлаждение проводится, как правило, принудительное для сохранения сформированной структуры.

В работе определена оптимальная скорость изменения температуры на стадии кристаллизации, что позволило получить образцы МКП с более точными габаритными размерами.

Для выяснения возможных изменений свойств керамики при изменении профилей обжига в работе проведены исследования по проверке электрических параметров керамики ϵ и $\tan \delta$ и её механической прочности. Исследовались 3 партии образцов и проведены обжиги с разными скоростями подъема температуры на стадии кристаллизации. Данные по образцам, параметрам обжига и полученным значениям ϵ и $\tan \delta$, плотности, усадки и коэффициентам масштабирования приведены в таблице 2 в сравнении с данными параметрами в ТУ.

Таблица 2

Сравнение результатов исследования с данными в ТУ и литературе

Параметр		по ТУ	Результат исследования		
			1 партия образцов	2 партия образцов	3 партия образцов
Температура обжига, °С		850 - 890	880	880	880
Диэлектрическая проницаемость (на 10 ГГц)		7,0 – 0,2	6,97	7,02	6,96
Тангенс угла диэлектрических потерь (на 10 ГГц)		0,0015	0,001	0,001	0,001
Плотность, г/см ³		≥ 2,8	2,81	2,83	2,784
Усадка (X, Y), %	X	9,1 ± 0,3	8,84	8,59	8,26
	Y		8,76	8,68	8,21
Коэффициент масштабирования (X, Y)	X	-	1,097	1,094	1,090
	Y		1,096	1,095	1,0895
Усадка (Z), %		-	10,15	11,11	10,39
Коэффициент масштабирования (Z)		-	1,113	1,125	1,116

Полученные значения ϵ , $\text{tg}\delta$ и плотности керамики СКМ во всех партиях близки значениям ТУ, а корреляция не превышает ошибки измерений. При этом получено изменение коэффициента усадки (X , Y) в диапазоне (8,21 – 8,84) %, что подтверждает возможность изменения скорости роста температуры в шаге кристаллизации для коррекции коэффициента усадки.

Заключение

В заключении можно отметить, в работе представлены результаты исследований технологии изготовления МКП по LTCC-технологии из отечественных материалов, а именно:

- разработана технология пробивки полостей сложной формы, а также ламинирования МКП с такими полостями;
- приведены исследования технологии изготовления МКП с торцевой металлизацией, разработан маршрут и автоматизирован процесс заполнения отверстий;
- приведенные исследования операции обжига позволили путем изменения градиента роста температуры на стадии кристаллизации влиять на коэффициент усадки образцов МКП и получать максимально точные габаритные размеры. Определено, что скорость подъема температуры во время обжига на стадии кристаллизации не оказывает влияния на ϵ , $\text{tg}\delta$ и плотность керамики. Правильно подобранная нагрузка на образцы во время обжига позволяет получить заданную плоскостность.

Разработанная технология успешно применяется для создания систем автоматики, систем навигации нового поколения с повышенной надежностью, увеличенным функционалом и уменьшенными массогабаритными характеристиками и позволила на основе отечественных LTCC материалов:

- изготовить многослойные керамические платы базового навигационного модуля бортовой аппаратуры спутниковой навигации. Образцы успешно прошли испытания в составе блока аппаратуры, конструкторской документации присвоена литера «О» (рис. 3);
- изготовить немагнитный корпус малогабаритного магниторезистивного преобразователя на АМР эффекте с характеристиками на уровне зарубежных аналогов (рис. 4).

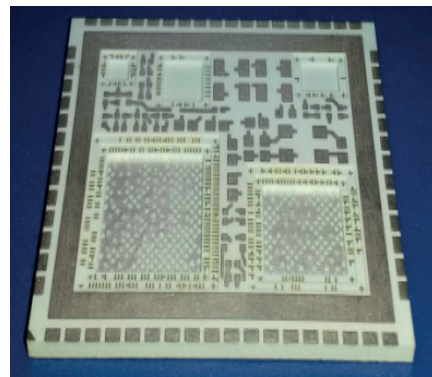


Рис. 3. Многослойная керамическая плата базового навигационного модуля бортовой аппаратуры спутниковой навигации

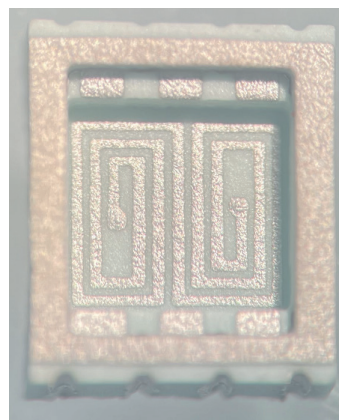


Рис. 4. Немагнитный корпус малогабаритного магниторезистивного преобразователя

Литература

1. Симин А., Холодняк Д., Вендик И. «Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот на основе керамики с низкой температурой обжига» // Компоненты и технологии, 2005 г, – № 5. С. 190-196.
2. Правила проектирования многослойных LTCC/HTCC компонентов (модулей) // М.: ООО «АК Микротех». 2019. – 78 с.
3. Технические условия ТУ 6366-001-07622667-2022 «Пленка стеклокерамического материала СКМ», г. Фрязино, 2022 г.
4. Технические условия ТУ 6366-004-07622667-2012 «Материалы LTCC» г. Фрязино, 2013 г.
5. Электронный ресурс «<http://www.mcm.dupont.com>».

УДК: 006.015.7

ПЕРСПЕКТИВНАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

AN ADVANCED RELIABILITY ASSURANCE SYSTEM OF SPECIAL TECHNIC

Артеменко В.Б., к.т.н., Першин Е.В., к.т.н., Долгополов В.Г., Габрух А.Ю.,
+7 (920) 581-09-33, gabruhalexei@yandex.ru

Artemenko V.B., Ph.D. of Engineering Sciences,
Pershin E.V., Ph.D. of Engineering Sciences, Dolgoplov V.G., Gabruh A.Y.,
+7 (920) 581-09-33, gabruhalexei@yandex.ru

Аннотация: В статье описана перспективная система обеспечения надежности специальной техники, которая устраняет ряд системных недостатков существующей системы, и определены цель, задачи и ее участники. Сформулирована структурно-функциональная схема перспективной системы, и приведено подробное описание ее элементов. С учетом опыта функционирующих в настоящее время систем обеспечения надежности в других областях, сформулирован ряд ключевых принципов, на которые необходимо опираться при построении перспективной системы обеспечения надежности. Определены приоритетные направления работ по совершенствованию системы обеспечения надежности.

Annotation: The article describes an advanced reliability assurance system of special technic that eliminates a variety of current systemic defects, and defines its aim, tasks and components. A structure and function chart of the advanced system and its element detailed description are presented. In the light of currently reliability assurance operating system experience in other domains a variety of key concepts is formulated that one has to base on in the course of the advanced reliability assurance system construction. Certain foreground trends of system development are defined.

Ключевые слова: надежность, система, обеспечение надежности, уровень надежности, недостатки, принципы, жизненный цикл, функционирование, специальная техника, процессы обеспечения, задачи.

Keywords: reliability, system reliability assurance, reliability level, current system shortcomings, concept, life-cycle, operation, special technic, support process, tasks.

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



Артеменко В.Б.



Першин Е.В.



Долгополов В.Г.



Габрух А.Ю.

Введение

Надежность является одним из важнейших свойств изделия специальной техники (далее – СТ). Какими бы высокими тактико-техническими характеристиками не обладало изделие СТ, если оно не готово к применению в необходимый момент времени, отказало и ожидает ремонта, то весь потенциальный военно-технический эффект в этом случае остается не реализованным.

Требуемый уровень надежности изделий СТ достигается путем выполнения комплекса взаимосвязанных работ на всех стадиях жизненного цикла (далее – ЖЦ) [1]. На стадии исследования и обоснования

разработки формируются требования к надежности, в том числе к системе технического обслуживания и ремонта; в ходе разработки изделия СТ выполняются работы, направленные на достижение заданных требований; на стадии производства осуществляется обеспечение надежности на уровне достигнутых значений. На стадии эксплуатации изделий СТ выполняются работы по поддержанию и восстановлению СТ, а также проводится оценка фактических показателей надежности СТ и принимаются меры по устранению причин отказов.

Исходя из этого очевидно, что для обеспечения надежности необходима эффективная организа-

ционно-техническая система, охватывающая всех участников ЖЦ изделия СТ, увязывающая процессы обеспечения надежности на всех стадиях ЖЦ, а также методическое и информационное обеспечение этих процессов. Например, для электронной компонентной базы уже реализован и апробирован ФГУП «ВНИИР» централизованный сбор, обработка и управление информацией о качестве и надёжности электронной компонентной базы, с применением автоматизированной информационно-аналитической системы [2].

Существующая организация процессов обеспечения надежности в ходе ЖЦ изделий СТ имеет ряд недостатков системного характера. К основным из них относятся следующие:

- процессы обеспечения надежности не регламентированы с достаточной степенью полноты и точности (имеются разрывы, несогласованность процессов на различных стадиях ЖЦ);
- не учитывается влияние мероприятий по обеспечению надежности изделий СТ на стоимость ЖЦ;
- недостаточная полнота и достоверность информации о фактической надежности изделий СТ и их составных частей, аналогах, процессах ЖЦ, не позволяют формировать корректные реализуемые требования к надежности СТ и принимать обоснованные решения по обеспечению надежности СТ.

В связи с этим актуальной является задача совершенствования системы обеспечения надежности СТ (далее – СОНад), на решение которой направлена настоящая статья.

Основная часть

Действующая нормативная база не устанавливает определение СОНад, как таковой. Существует определение термина «Система управления надежностью», сформулированное как совокупность всех средств предприятия по управлению надежностью [3]. В таком случае деятельность по обеспечению надежности, как составной части системы управления надежностью [4], сводится к рамкам предприятия и, соответственно, не охватывает весь ЖЦ изделия СТ и всех участников ЖЦ. В результате, даже на уровне основных терминов наблюдается весьма ограниченное понимание надежности, как чего-то дополнительного, осуществляемого предприятиями в рамках своих работ. Вместе с тем, показатели надежности находятся в тесной взаимосвязи с основными процессами ЖЦ изделия СТ, в частности, с выбором конструктивных решений, параметрами системы эксплуатации, включая порядок (сценарии, режимы) применения изделия по назначению; с технологиями производства, и, конечно же с организацией системы технической эксплуатации. На различных стадиях ЖЦ эти процессы реализуются отдельными участниками ЖЦ, но для обеспечения высокого уровня надежности СТ необходим комплексный подход.

Поэтому в данной статье под СОНад предлагается рассматривать организационно-техническую систему, включающую участников ЖЦ, осуществляющих деятельность в области обеспечения надежности, нормативное обеспечение, регламентирующее деятельность в области обеспечения надежности, информационные ресурсы о надежности СТ, а также материальную базу, в том числе программно-технические комплексы, информационно-коммуникационные технологии, обеспечивающие сбор и обработку информации о надежности изделий СТ и связанных с ним процессах ЖЦ, а также поддержку принятия решений по обеспечению надежности СТ.

Целью функционирования СОНад является обоснование, достижение, обеспечение и поддержание в течение ЖЦ заданного государственным заказчиком уровня надежности СТ.

Основные задачи перспективной СОНад основываются на сложившейся практике и нормативной базе в данной области и включают:

- обоснование требований к надежности СТ, включаемых в тактико – техническое задание на опытно – конструкторские работы, технические условия, общие технические требования;
- определение состава мероприятий по обеспечению надежности СТ, планирование их выполнения и контроль реализации, в том числе мероприятий программ обеспечения надежности (далее – ПОН), авторского надзора, доработки по бюллетеням;
- выбор и обоснование конструктивных решений и решений по системе технической эксплуатации, обеспечивающих достижение заданного уровня надежности, в том числе расчет фактических показателей надежности;
- разработка программ и методик испытаний на надежность, в том числе выбор методов испытаний;
- оценка соответствия изделий СТ требованиям к надежности, в том числе проведение испытаний опытных (ремонтных) и серийных образцов изделий СТ;
- разработка и контроль реализации корректирующих мероприятий по обеспечению надежности СТ (внесение изменений в конструкцию, эксплуатационную документацию, технологию производства и др.);
- выявление и устранение причин отказов (дефектов);
- анализ деятельности по управлению надежностью изделий СТ и определение необходимости проведения мероприятий, направленных на улучшение этой деятельности.

Новой является последняя задача. Ее включение продиктовано международным опытом управления ЖЦ изделий различного назначения, в том числе и СТ, который свидетельствует о важности и потенциальной результативности непрерывной деятельности по повышению надежности изделий. За рубежом методология непрерывного улучшения процессов

(Continuous Process Improvement, CPI) получила большое распространение, в том числе для обеспечения надежности, и нашла свое отражение в нормативной базе министерства обороны США [5-8], в документах Великобритании института стандартов [9].

Для качественного решения перечисленных задач, возложенных на СОНад, предлагается реализовать решение следующего перечня *обеспечивающих* задач:

- автоматизированный сбор, учет, хранение и анализ данных о надежности изделий СТ (требования к надежности, расчетные и прогнозные показатели надежности, достигнутые показатели надежности по результатам испытаний, сведения об отказах, наработке, ремонтах в ходе эксплуатации);
- обеспечение доступа и анализа данных о надежности СТ;

- оценка фактических показателей надежности СТ на стадии эксплуатации;
- учет и контроль выполнения мероприятий по обеспечению надежности СТ, включаемых в ПОН;
- прогнозирование уровня надежности СТ по статистическим данным;
- автоматизированный учет рекламаций на гарантийные изделия СТ;
- автоматизированный учет причин отказов СТ;
- формирование справочников надежности комплектующих изделий, а также справочников типовых отказов;
- формирование отчетов о состоянии надежности СТ, выполнении мероприятий по обеспечению надежности СТ.

Взаимосвязи между основными и обеспечивающими задачами СОНад представлены на рис. 1.

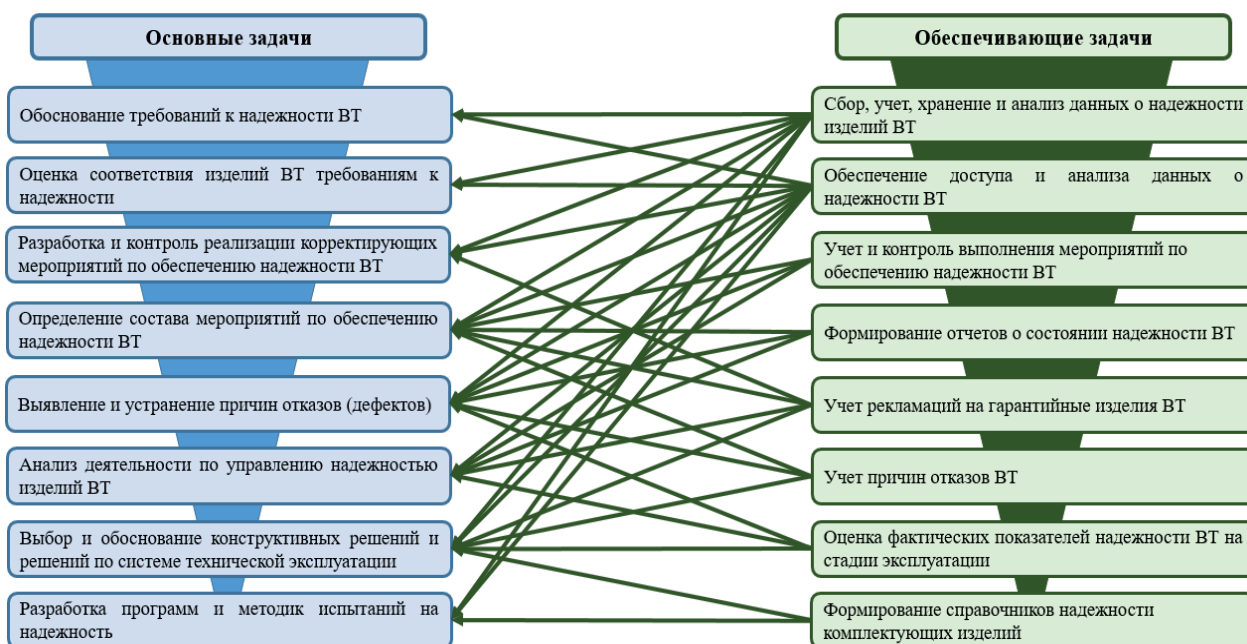


Рис. 1. Взаимосвязь основных и обеспечивающих задач СОНад

Исходя из предложенного выше определения СОНад участниками перспективной системы должны стать:

- государственный заказчик СТ;
- военные представительства Министерства обороны Российской Федерации (далее – ВП МО РФ);
- эксплуатирующие организации;
- предприятия оборонно-промышленного комплекса (разработчики, изготовители СТ, сервисные организации);
- Министерство промышленности и торговли Российской Федерации.

На основе представленного состава участников и задач, решаемых СОНад, сформулирована структурно-функциональная схема перспективной системы, представленная на рис. 2.

Разработчик, изготовитель, эксплуатирующие, сервисные и ремонтные организации являются источниками первичной информации. К этой информации относятся требования, достигнутые показатели надежности в рамках разработки, испытаний опытных, серийных, ремонтных образцов, данные о техническом состоянии, выявленных неисправностях, выполненных ремонтах на стадии эксплуатации.

Первичная информация через ВП МО РФ передается и хранится в единой информационной системе.

Потребителями первичной информации являются органы военного управления и научно-исследовательские организации Министерства обороны Российской Федерации, которые проводят анализ первичной информации, расчет показателей надежности, сравнение их с требуемыми зна-

чениями, анализ динамики показателей надежности.

По согласованию с государственным заказчиком СТ первичные сведения о надежности СТ предоставляются главному конструктору изделия СТ для выявления причин несоответствия надежности изделий

СТ установленным требованиям, совершенствования изделия СТ и процессов его ЖЦ.

Главный конструктор изделия СТ обосновывает решения по совершенствованию конструкции изделия СТ, процессов ЖЦ изделия и представляет их государственному заказчику изделия СТ.



Рис. 2. Структурно-функциональная схема перспективной СОНад

Также главный конструктор изделия СТ направляет в Минпромторг России сведения о качестве покупных изделий и материалов, применяемых в изделиях СТ, потребностях в покупных изделиях, технологиях и материалах.

На основе предложений главного конструктора изделия СТ государственным заказчиком принимаются решения (устанавливаются требования) по созданию (изменению) изделия СТ, начале (прекращении) видов работ.

Минпромторг России осуществляет анализ поступающих сведений о текущих и перспективных потребностях Минобороны России в покупных изделиях двойного назначения и материалах с заданными показателями надежности и качества и учет этих сведений при формировании и реализации государственных программ развития ОПК.

Основываясь на положительном опыте функционирования систем обеспечения надежности для авиационной и ракетной техники, зарубежного опыта, а также успешных примеров обеспечения надежности в России [10], сформулирован ряд ключевых принципов, на которые необходимо опираться при построении перспективной СОНад. Рассмотрим их подробнее.

Непрерывность работ по обеспечению надежности на протяжении всего ЖЦ изделий СТ.

В настоящее время основные усилия по обеспечению надежности СТ принимаются на стадии разработки, в меньшей степени на стадии производства и эксплуатации в рамках гарантийного надзора. С одной стороны, это вполне логично, так как именно в ходе разработки закладывается требуемый уровень надежности, который далее поддерживается в ходе производства и эксплуатации. Однако, срок эксплуатации современных изделий СТ составляет 20-30 лет, что намного превышает гарантийный срок. За это время под воздействием различных факторов уровень надежности может существенно снизиться. Меняются комплектующие двойного применения, материалы, применяемые в изделиях СТ, технологии изготовления. Поэтому для обеспечения надежности СТ на протяжении всего периода эксплуатации требуется непрерывный мониторинг надежности и своевременное принятие мер по обеспечению надежности в случае необходимости вплоть до прекращения эксплуатации. При этом результаты мониторинга должны использоваться при разработке (модернизации) новых изделий СТ.

Охват всего парка СТ.

Изделия СТ одного типа, как правило, эксплуатируются в различных условиях, в разных климатических зонах, с разной интенсивностью. В связи с этим наблюдение за надежностью СТ только в рамках подконтрольной эксплуатации, когда выбирается только отдельное соединение (несколько соединений), не позволяет учесть влияние всех значимых для надежности факторов, выявить недостатки, снижающие уровень надежности.

Автоматизация процессов сбора, хранения и предоставления сведений о надежности на основе единой информационной системы.

Охват всех стадий ЖЦ изделий СТ и непрерывный мониторинг надежности всего парка СТ ведут к увеличению объема работ по учету отказов, наработки, ремонтов, оценке и анализу показателей надежности. Парирование возрастания данной нагрузки должна обеспечить глубокая степень автоматизации процессов сбора, учета, хранения и предоставления сведений о надежности на основе интеграции данных в единой информационной системе.

Постоянный анализ и совершенствование системы обеспечения надежности СТ на основе внедрения перспективных технологий и методов обеспечения надежности.

Непрерывный самоанализ и поиск путей повышения эффективности являются обязательными требованиями всех сложных организационно-технических систем [10], к которым относится и СОНад. Это обусловлено тем, что из-за масштабности и сложности системы она становится «необозримой» с точки зрения должных лиц, осуществляющих принятие решений по управлению развитием системы. Поэтому необходима регулярная оценка показателей, характеризующих функционирование СОНад, учет факторов, влияющие на нее и исследование путей совершенствования СОНад.

Направленность на выявление и устранение первичных причин отказов, уход от формального подхода к установлению причин отказов.

Анализ рекламационной деятельности, реакций органов военного управления на отказы изделий СТ показывает, что зачастую исследование причин отказов останавливается на определении виновной стороны – разработчика, изготовителя или эксплуатирующей организации. При этом первопричины отказов остаются не выявленными, а, следовательно, не принимаются корректирующие воздействия, направленные на устранение первопричин отказов. Так, обычной мерой в случае отказа является наказание должностных лиц и внеплановый инструктаж персонала по правилам эксплуатации. Однако первопричина данного отказа может быть более глубокая и необходимо исследование, например, того, насколько реализуема эксплуатационная документация с точки зрения выполнения тех или иных действий

персоналом. Может проблема решается установкой дополнительного датчика – сигнализатора, предохранителя и т. д.

Учет затрат на ЖЦ изделия СТ при обосновании мероприятий по обеспечению надежности СТ.

На протяжении ЖЦ изделия СТ специалисты в области надежности готовят решения, связанные с конструкцией изделия, параметрами системы технической эксплуатации, выбором методов обслуживания, комплектацией ЗИП, план-графиком проведения технического обслуживания и ремонта (далее – ТОиР) и другими вопросами, влияющими на стоимость ЖЦ изделия СТ.

Самые незначительные изменения в области обеспечения надежности могут привести к ощутимым сдвигам в затратах, необходимых для содержания и применения СТ, а также стоимости ЖЦ в целом. Изменения могут затронуть закупочную стоимость изделия, стоимость технической эксплуатации, в том числе стоимость ТОиР, ЗИП и другие стоимостные показатели, влияющие на стоимость ЖЦ СТ.

Работы по созданию перспективной СОНад предлагается проводить по следующим направлениям:

1. Разработка нормативных правовых актов, регламентирующих порядок функционирования СОНад.

Данные нормативные правовые акты должны устанавливать состав участников СОНад, их функции и общий порядок деятельности в части обеспечения надежности СТ.

2. Разработка и пересмотр документов по стандартизации оборонной продукции, необходимых для функционирования СОНад.

Документы по стандартизации оборонной продукции должны раскрывать и уточнять положения нормативных правовых актов.

3. Разработка и оснащение органов военного управления и организаций Министерства обороны Российской Федерации программно-техническими комплексами автоматизированных информационных систем, обеспечивающих решение задач по обеспечению надежности СТ.

4. Включение в состав перспективных образцов СТ средств объективного контроля и интерактивных электронных технических руководств, обеспечивающих накопление информации об эксплуатации, и ее выгрузка в единый информационный центр.

Данные мероприятия позволят обеспечить объективность поступающей информации о техническом состоянии СТ и снизить нагрузку на техническим персонал.

Заключение

Таким образом, реализация предлагаемых концептуальных решений по созданию СОНад, по нашему мнению, позволит обеспечить:

– непрерывность деятельности участников ЖЦ по обеспечению надежности СТ на протяжении всего ЖЦ;

– наличие актуальной информации о техническом состоянии СТ и процессах ЖЦ, достаточной для принятия обоснованных решений по обеспечению надежности СТ;

– повышение эффективности взаимодействия государственного заказчика СТ, Минпромторга России и главного конструктора изделия СТ при решении задач по обеспечению надежности СТ.

Литература

1. Дормидошина Д.А. «Система управления надежностью на стадиях жизненного цикла электронной компонентной базы» / Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2024 г., № 15.
2. Сучков К.И., Невский А.А., Рубцов Ю.В. «Развитие системных мероприятий управления качеством и надежностью электронной компонентной базы по направлениям сбора, обработки и анализа информации с этапов производства, применения и эксплуатации» / Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2021 г., № 1.
3. ГОСТ Р 27.001-2009 «Надежность в технике. Система управления надежностью. Основные положения».
4. Концепция комплексного управления надежностью, рисками, стоимостью жизненного цикла на железнодорожном транспорте. Утверждена Старшим вице-президентом ОАО «РЖД» Гапановичем 31.07.2010.
5. Continuous Process Improvement Transformation Guidebook / U.S. Department of Defense, May 11, 2006.
6. DCMA-MAN 4502-05 Continuous Process Improvement / Defense Contract Management Agency, December 22, 2020.
7. DoDI 5010.43 Implementation and Management of the DoD-Wide Continuous Process Improvement/Lean Six Sigma (CPI/LSS) Program, July 17, 2009.
8. DCMA-INST 4502 Corporate Governance / Defense Contract Management Agency, January 14, 2019.
9. BS 8624:2019 Continual improvement. Methods for quantification. Guide / British Standards Institute, 2019-11-29, 16 pages.
10. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования» (ISO 9001:2015, IDT).

УДК 006.91

РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ОРГАНИЗАЦИИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОСТАВЩИКОВ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR THE ORGANIZATION METROLOGICAL SUPPORT OF SUPPLIERS ELECTRONIC COMPONENT BASE

Шведов А. В., заместитель генерального директора по качеству,
ООО «ВИТАЛ ЭЛЕКТРОНИКС ВП»; +7 (911) 762-21-81, shvedov@vital-ic.com

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

Аннотация: В статье предлагается дальнейшее развитие темы организации метрологического обеспечения (МО) поставщиков электронной компонентной базы (ЭКБ). Представлены и рассмотрены предложения по организации МО и управлению устройствами для мониторинга и измерений, которые применяются поставщиками ЭКБ при осуществлении входного контроля ЭКБ, измерений при реализации программы по защите от электростатического заряда и измерений параметров микроклимата в местах обращения с ЭКБ.

Annotation: The article proposes further development of the topic of organizing metrological support for suppliers of electronic components. Proposals for monitoring and controlling devices used by these suppliers to ensure the quality of electronic components are presented and discussed. These include monitoring and measuring devices used in the input control process, as well as programs to protect against electrostatic charges and measure microclimate parameters in areas where electronic components are handled.

Ключевые слова: поставщики электронной компонентной базы, метрологическое обеспечение, устройства для мониторинга и измерений, система менеджмента качества.

Keywords: suppliers of electronic component base, metrological support, monitoring and measurement devices, quality management system.

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

Введение

Ключевыми элементами системы менеджмента качества (далее – СМК) поставщиков электронной компонентной базы (далее – ЭКБ) являются закупка, хранение, входной контроль и поставка потребителям ЭКБ, требуемого уровня качества для комплектации радиоэлектронной аппаратуры широкого спектра назначения, с выполнением гарантийных обязательств по срокам, объему и комплектности поставок [1,2].

При осуществлении входного контроля и хранения ЭКБ перед поставщиком возникает ряд задач, решение которых невозможно без применения устройств для мониторинга и измерений.

К таким задачам можно отнести [3,4]:

- проверку ЭКБ на соответствие габаритным, установочным и присоединительным размерам;
- контроль массы изделий ЭКБ;
- пересчет ЭКБ;
- измерения параметров микроклимата (температура, влажность) на складе ЭКБ;
- проверку работоспособности антистатических браслетов;
- мониторинг мест обращения ЭКБ и складских помещений на соответствие требованиям к мерам защиты от электростатического разряда.

Для того, чтобы устройства для мониторинга и измерений были пригодными для решения поставленных задач по мониторингу и измерению, а также для сохранения их пригодности для предусмотренных целей [5], у поставщиков ЭКБ, в соответствии с требованиями основополагающих национальных, государственных стандартов, документов по стандартизации оборонной продукции и руководящих документов, должно быть организовано метрологическое обеспечение (далее – МО) [3].

Но, к сожалению, нет целостного подхода к организации МО поставщиков ЭКБ. Это связано с тем, что не у каждого поставщика ЭКБ, в организационно-штатной структуре предусмотрена метрологическая служба. Ввиду этого решение вопросов МО деятельности поставщика ЭКБ закрепляется в СМК за службой качества, что приводит к расширению спектра задач, стоящих перед данным подразделением, и может влиять на повышение вероятности возникновения риска, связанного с появлением несоответствий по организации МО.

При проведении внешних и внутренних аудитов (проверок) СМК поставщиков ЭКБ, выявляются следующие основные несоответствия по организации МО:

- «средства измерений (далее – СИ), находящиеся на рабочих местах, не идентифицированы и не содержат информации о сроках поверки»;
- «стандарт организации (далее – СТО) по управлению СИ носит декларативный характер, а не регламентирующий, в результате практические положения по управлению СИ не представлены в СТО»;



Шведов А.В.

- «не представлена процедура оценки правильности результатов предыдущих измерений, если обнаружено несоответствие СИ, использованного для этих измерений»;
- «в типовых формах контрактов на поставку ЭКБ не предусмотрен перечень СИ для инструментального контроля, в случае если потребителем будут предъявлены требования о необходимости проведения инструментального контроля ЭКБ»;
- «не оформлен перечень СИ, применяемых у поставщика ЭКБ»;
- «не оформлены графики поверки и калибровки СИ»;
- «не осуществляется поверка и калибровка СИ в установленные сроки»;
- «в должностной инструкции не определены задачи, права и обязанности ответственного за метрологическое обеспечение».

Качество, а значит, и конкурентоспособность поставляемой продукции и оказываемых услуг напрямую зависят от уровня МО. Поэтому при организации МО необходимо не только обеспечивать правильное применение устройств для мониторинга и измерений, но и осуществлять грамотное управление результатами измерений [6,7]. В данной статье приводятся предложения, которые позволят повысить результативность МО поставщиков ЭКБ.

Основная часть

Под МО понимается создание и поддержание условий для получения измерительной информации, соответствующей установленным заданным требованиям [6,8], причем измерение как система, служит объектом метрологии, а качество измерения – ее предметом [6].

В пункте 9.1.1.3 руководящего документа [3] прописано требование о необходимости установления поставщиком ЭКБ порядка МО, с учетом стандартов и правил государственной системы обеспечения единства измерений (далее – ОЕИ). Однако в [3] отсутствуют ссылки на законодательные и нормативные основы ОЕИ.

Деятельность по ОЕИ является составной частью МО, т. е. ОЕИ является функцией государства, а хозяйствующие субъекты, выполняют функцию соблюдения правовых норм [6]. Общий состав нормативно-правовой базы в области ОЕИ приведен в виде схемы на рис. 1.

Среди Федеральных законов и нормативных документов по стандартизации, регламентирующих МО, следует особенно выделить:

- Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»;
- ГОСТ Р 8.820-2013 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение. Основные положения»;
- ГОСТ РВ 0008-000-2019 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение вооружения и военной техники. Основные положения».

К основным задачам МО поставщиков ЭКБ относятся [3,5,6]:

- определение необходимых устройств для мониторинга и измерений, с учетом поставленных измерительных задач;
- своевременное представление применяемых СИ (оборудования) на поверку и калибровку;
- внедрение нормативной документации в области ОЕИ;
- проведение анализа мероприятий по управлению устройствами для мониторинга и измерений;
- надзор за состоянием СИ в организации;
- разработка мероприятий по совершенствованию МО;
- консультирование персонала поставщика ЭКБ по вопросам МО.

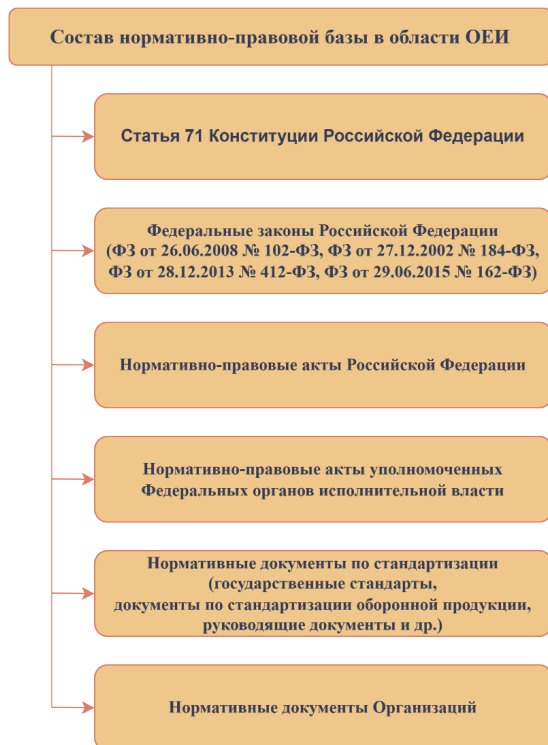


Рис. 1. Общий состав нормативно-правовой базы в области ОЕИ

С учетом требований нормативно-правовой базы в области ОЕИ, процедуру управления МО поставщика ЭКБ, можно представить в виде следующих последовательных этапов:

- планирование МО поставщика ЭКБ;
- реализация мероприятий по управлению СИ и оборудованием;
- мониторинг процедуры «Метрологическое обеспечение поставщика ЭКБ»;
- корректирующие действия (меры) по результатам мониторинга;
- анализ и улучшение процедуры «Метрологическое обеспечение поставщика ЭКБ».

На рис. 2 представлено графическое описание реализации процедуры.

Планирование МО поставщика ЭКБ осуществляется путем оформления графиков поверки (калибровки) СИ и оборудования, а также, при необходимости, заявок на закупку СИ и оборудования.

Ответственность за своевременное представление СИ и оборудования на поверку (калибровку) возложена на ответственного за МО. Как уже отмечалось ранее, в организациях, в которых не предусмотрена организационно-штатной структурой метрологическая служба – ответственность за решение вопросов, связанных с МО, как правило, возложена на службу качества.

Реализация мероприятий по управлению средствами измерений и оборудованием включает в себя: приобретение, учет, хранение, эксплуатацию, поверку, калибровку, техническое обслуживание и ремонт СИ (оборудования). При этом приобретение осуществляется у одобренных поставщиков СИ (оборудования), а поверка, калибровка, техническое обслуживание и ремонт СИ (оборудования) осуществляется внешними метрологическими службами, которые аккредитованы на проведение соответствующих работ в области ОЕИ. Выбор внешних поставщиков СИ (оборудования) и метрологических служб осуществляется на основании методики оценки поставщиков услуг, применяемой в организации.

Для снижения вероятности возникновения риска, связанного с ошибочными решениями о качестве продукции, ее составных частей и процессов [9], в нормативной документации СМК необходимо определить порядок оценки и регистрации правомочности результатов предыдущих измерений, если обнаружено, что СИ и оборудование непригодны к применению [3,9,10]. Один из вариантов документированной процедуры оценки правомочности результатов предыдущих измерений (оценок) предложен в публикации [9].

Следует отметить, что поставщиками ЭКБ могут применяться устройства для мониторинга и измерений, не относящиеся к СИ. Примером такого технического устройства, является счетчик ЭКБ, с помощью которого возможно осуществить подсчет SMD-компонентов (surface-mount devices – компоненты поверхностного монтажа), упакованных в блистерную ленту, а также ЭКБ с аксиальными и радиальными выводами. Данное техническое устройство, не относится к СИ и не подлежит обязательной метрологической поверке, поэтому с целью установления порядка управления

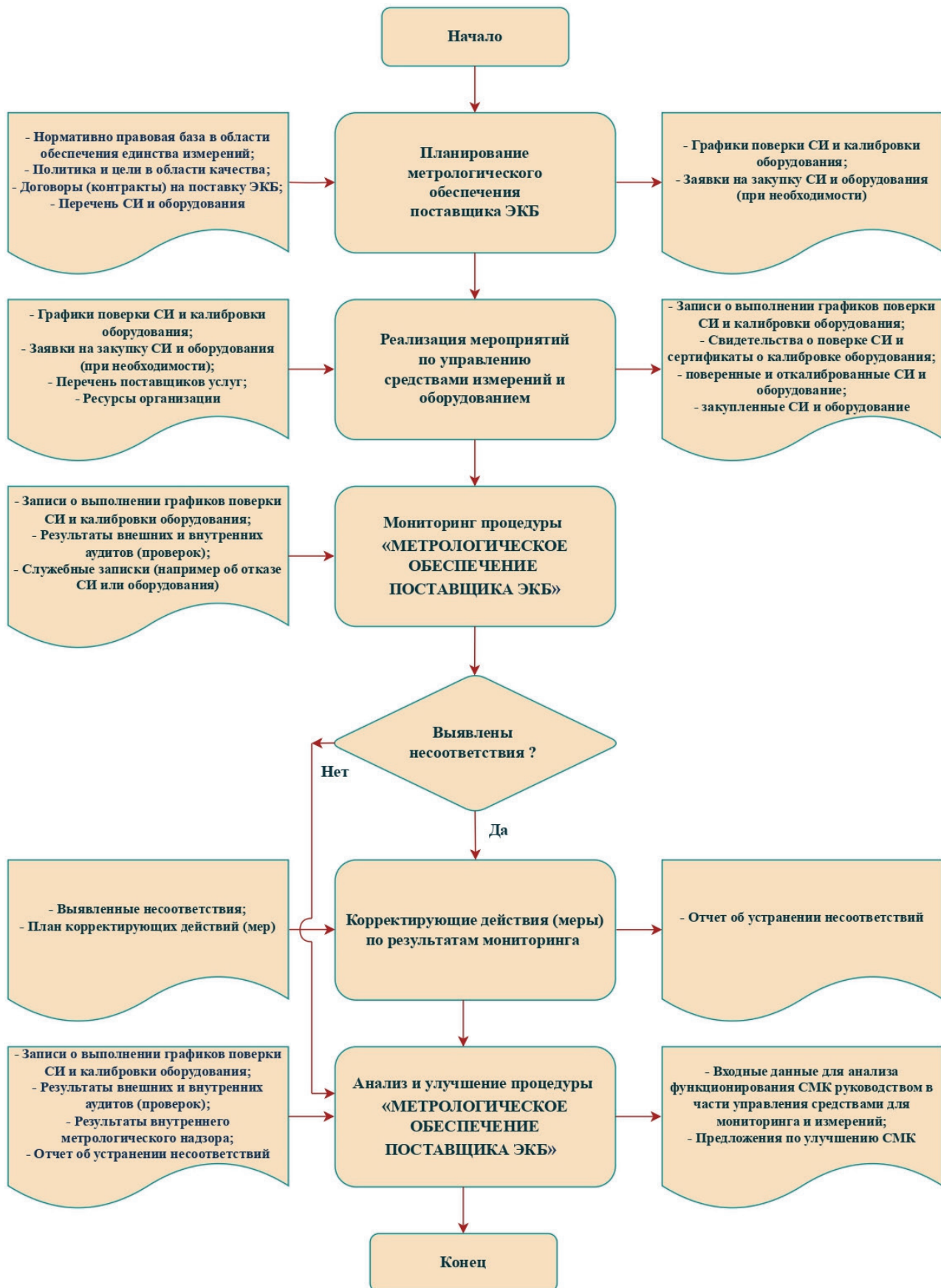


Рис. 2. Предлагаемый алгоритм реализации процедуры «Метрологическое обеспечение» для поставщиков ЭКБ

данным счетчиком необходимо разработать нормативный документ (инструкцию) по особенностям его эксплуатации и обслуживанию [10].

Мониторинг процедуры «Метрологическое обеспечение поставщика ЭКБ», как правило, организуется и осуществляется:

- при подготовке отчета об анализе функционирования СМК руководством;
- при проведении внутреннего метрологического надзора (далее – ВМН) в процессе внутренних аудитов (проверок) СМК [11];
- при проведении внешних аудитов (проверок);
- при проведении мероприятий по оценке и анализу рисков;
- при проведении заседаний Совета по качеству.

В публикации [11] освещены вопросы проведения ВМН при внутреннем аудите (проверке) СМК, приведен алгоритм реализации данной процедуры с учетом требований к предприятиям радиоэлектронной промышленности.

Внедрение и применение ВМН в Организации позволит решать большинство задач МО в прикладном плане, и, следовательно, обеспечит гарантию качества продукции (оказания услуг) [11, 12].

Цель проведения ВМН: проверка соблюдения метрологических норм в организации [12].

Объектами ВМН являются [11,12]:

- проверка оснащенности организации устройствами для мониторинга и измерений;
- проверка состояния и применения устройств для мониторинга и измерений (проверка соответствия условий хранения и эксплуатации СИ, проверка соблюдения требований в отношении неисправных СИ и оборудования для измерений, проверка правильности использования СИ и др.);
- проверка соблюдения метрологических требований, установленных в нормативной документации;
- проверка соблюдения порядка осуществления поверки (калибровки) СИ и оборудования для измерений.

Проверки, в рамках ВМН могут быть [12,13]:

- плановые, предусмотренные планом-графиком проведения внутренних аудитов (проверок) СМК и графиком проведения ВМН;
- внеплановые, предпринятые по указанию высшего руководства при появлении несоответствий СМК и претензий от потребителей к качеству ЭКБ.

Лицо, ответственное за осуществление ВМН приказом Генерального директора получает полномочия ответственного по проверке соблюдения метрологических норм в организации (инспектор ОЕИ на предприятии) [11].

Инспектор ОЕИ на предприятии должен [11]:

- иметь высшее техническое образование;
- знать нормативные, правовые и организационно-методические документы, регламентирующие дея-

тельность в области ОЕИ;

– знать специфику деятельности квалифицированных поставщиков ЭКБ, роль и значение объектов ВМН при его осуществлении;

– пройти подготовку (обучение) в области МО и ВМН;

– быть аттестованными комиссией с участием ответственного за МО в организации;

– обладать высокими личностными и деловыми качествами.

Важной составляющей процедуры МО является мониторинг рисков, их идентификация, анализ и разработка корректирующих действий (мер) по снижению вероятности их возникновения [14]. Примерами рисков могут быть:

- ошибочные решения о качестве продукции, ее составных частей и процессов из-за применения неисправных СИ и оборудования;
- ошибочные решения о качестве продукции, ее составных частей и процессов из-за недостаточной квалификации персонала;
- невозможность выполнения измерительных задач из-за отсутствия необходимых СИ и оборудования;
- ошибочные действия персонала, при проведении измерений, из-за недостаточного нормативного обеспечения;
- несвоевременное предоставление СИ (оборудования) в поверку (калибровку) из-за ошибок в планировании МО.

Периодичность и ответственность за мониторинг процедуры устанавливаются в нормативной документации СМК.

Анализ процедуры МО проводится:

- при оценке результативности процедуры;
- при выявлении несоответствий и реализации мероприятий по их устранению.

Примерный перечень критериев для оценки результативности процедуры [15] «Метрологическое обеспечение поставщика ЭКБ» приведен в таблице 1.

В качестве улучшения МО поставщика ЭКБ следует рассматривать следующие направления:

- поддержание высокой результативности процедуры (определение границы результативности процедуры, не требующей корректирующих действий (мер), путем своевременной реализации мероприятий по управлению СИ, оборудованием и результатами измерений);
- использование современного парка СИ и оборудования для осуществления измерительных операций;
- совершенствование процедуры ВМН;
- анализ степени важности измерительной информации, использование СИ с более высоким классом точности СИ, где это целесообразно;
- повышение уровня компетентности персонала в вопросах МО.

Таблица 1

Примерный перечень критериев оценки результативности процедуры
«Метрологическое обеспечение поставщика ЭКБ»

№ п/п	Содержание критерия
1.	Степень реализации графиков поверки (калибровки) СИ (оборудования)
2.	Степень укомплектованности подразделений СИ (оборудованием)
3.	Отсутствие случаев принятия ошибочных решений о качестве продукции, ее составных частей и процессов из-за применения неисправных СИ и оборудования
4.	Степень выполнения заявок на закупку СИ (оборудования)
5.	Полнота документированной информации, предусмотренной при реализации процедуры

Мероприятия по организации МО необходимо подробно регламентировать во внутренней нормативной документации СМК, с акцентом на порядок управления СИ и оборудованием, управление результатами измерений, проведения метрологического надзора и на действия в отношении рисков, возникающих при реализации процедуры. Задачи, права и обязанности ответственного за МО должны быть определены в должностной инструкции.

Заключение

МО является важным составным элементом СМК поставщиков ЭКБ, одним из инструментов достижения высокого качества поставляемой продукции и оказания услуг. Рассмотренные в данной статье предложения позволят улучшить деятельность поставщиков ЭКБ в части организации МО.

Литература

- Подъяпольский С.Б., Булгаков О.Ю. «Методические рекомендации и требования к порядку проведения выездных проверок квалифицированных поставщиков ЭКБ». // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2024. № 1 (13). С 34-35
- Булгаков О.Ю. «Методика выбора квалифицированных поставщиков электронной компонентной базы». // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2021. № 4. С 31-36
- ЭС РД 009-2023. «Дополнительные требования к системе менеджмента качества организаций-поставщиков электронной компонентной базы военного и двойного назначения»
- ЭС РД 010-2020. «Требования к поставщикам электронной компонентной базы и порядок их квалификации».
- ГОСТ Р 8.820-2013 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение. Основные положения».
- Быканов В.В., Есакова М.М., Тупицина А.В. «Роль и место метрологического обеспечения в повышении качества и эффективности в современных экономических условиях». // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2023. № 4 (12). С 9-14.
- Быканов В.В., Булгаков О.Ю., Есакова М.М., Назаркина А.В. «Значение метрологического обеспечения в радиоэлектронной отрасли и его совершенствование». // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2021. № 1. С 16-17.
- Гвоздев В.Д. «Прикладная метрология». Учебное пособие. – М.: МИИТ, 2011. – 208 с.
- Винокуров А.В., Алексеева Т.И., Зайцева Ю.А. «К вопросу об оценке правомочности предыдущих результатов измерений». // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2023. № 2 (10). С 9-12.
- Шведов А.В. «Совершенствование процесса входного контроля электронной компонентной базы, поставляемой для аппаратуры широкого спектра назначения». // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2024. № 4 (16). С 31-36.
- Быканов В.В., Есакова М.М., Тупицина А.В. «Метрологический надзор при проведении внутреннего аудита как инструмент деятельности испытательной лаборатории (центра)». // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2022. № 2 (6). С 22-24.
- ГОСТ Р 8.884-2015 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологический надзор, осуществляемый службами юридических лиц. Основные положения».
- Шведов А.В. «Практические моменты проведения внутренних аудитов системы менеджмента качества поставщиков электронной компонентной базы». // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2024. № 2 (14). С 27-30.
- Винокуров А.В., Алексеева Т.И., Зайцева Ю.А. «К вопросу о менеджменте рисков». // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2024. № 1 (13). С 32-33.
- Булгаков О.Ю., Подъяпольский С.Б. «Одна из методик оценки качества функционирования СМК поставщиков ЭКБ». // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2021. № 3. С 18-21.

УДК 006.91

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА
СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

IMPROVEMENT OF METROLOGICAL SUPPORT TO ENHANCE
THE QUALITY OF MODERN ELECTRONIC COMPONENT BASE

Быканов В.В., к. т. н., с. н. с., ведущий научный сотрудник отдела метрологии,
Булгаков О.Ю. к. воен. н., заслуженный работник связи Российской Федерации, заместитель директора
центра стандартизации и испытаний, **Тишанов О.В.**, начальник отдела метрологии, ФГБУ «ВНИИР»;
+7 (985) 725-73-68, psb@vniir-m.ru

Bykanov V.V., PhD, Senior Researcher, Leading Researcher of the Department of Metrology,
Bulgakov O.Yu., PhD, Honored Worker of Communications of the Russian Federation, Deputy Director of the
Center for Standardization and Testing, **Tishanov O.V.**, Head of the Department Specialist, FGBU VNIIR;
+7 (985) 725-73-68, psb@vniir-m.ru

Аннотация: На основании задач, изложенных в Стратегии развития электронной промышленности до 2030 года, разработаны предложения по совершенствованию метрологического обеспечения разработки и производства современной электронной компонентной базы. Особое внимание акцентировано на метрологическом обеспечении нанотехнологий и композиционных материалов, выполнении требований Федерального закона ФЗ-102 по обязательным метрологическим требованиям.

Annotation: Based on the objectives outlined in the Strategy for the Development of the Electronic Industry until 2030, proposals have been developed to improve metrological support for the development and production of modern electronic component base. Special attention is focused on metrological support for nanotechnologies and composite materials, as well as on compliance with the mandatory metrological requirements of Federal Law No. 102.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение, электронная компонентная база, качество, стандартизация, измерения, радиоэлектронная промышленность, метрологическая экспертиза, инновации.

Keywords: metrological support, electronic component base, quality, standardization, measurements, radio-electronic industry, metrological expertise, innovation.

Научная специальность: 2.2.10 Метрология и метрологическое обеспечение, технические.

Введение

Радиоэлектронная промышленность занимает ключевое место в формировании технологической независимости и конкурентоспособности страны. Качество и надежность продукции в этой отрасли напрямую зависят от уровня метрологического обеспечения, то есть от системы, гарантирующей точность, достоверность и воспроизводимость измерений на всех этапах жизненного цикла изделий. В условиях ускоряющейся технологической конкуренции, ужесточения требований к продукции и необходимости интеграции в мировые рынки вопросы совершенствования метрологического обеспечения приобретают особую актуальность.

Основная часть

Стратегия развития электронной промышленности Российской Федерации до 2030 года направлена на создание отрасли, способной формировать новые рынки и выпускать высокотехнологичную продукцию, конкурентоспособную на мировом уровне. Для достижения этой цели предусмотрено формирование рыночного спроса на разработку и производство электронного оборудования, создание национальной



Быканов В.В.



Булгаков О.Ю.



Тишанов О.В.

системы стандартов, адаптированной к международным требованиям, а также разработка инструментов коммерциализации инноваций и регулирование рынков. Особое внимание уделяется развитию сети дизайн-центров по приоритетным технологиям, поддержке научно-технологических и экспортоориентированных проектов, совершенствованию нормативно-правовой среды и развитию доступной отраслевой информационной среды.

Реализация стратегии предусматривает поэтапное развитие отрасли. На первом этапе, охватывающем 2018–2020 годы, акцент делался на коммерциализации существующего технологического задела

на традиционных рынках. Второй этап, рассчитанный на 2021–2025 годы, связан с созданием прикладных решений для новых рынков. Третий этап, который охватывает период с 2026 по 2030 годы, предполагает выпуск уникальных продуктов для рынков будущего. В результате к 2030 году ожидается значительный рост выручки отрасли, увеличение доли гражданской продукции, повышение производительности труда и существенное увеличение объема экспорта отечественной радиоэлектронной продукции.

Современное производство радиоэлектронной продукции требует внедрения передовых технологий автоматизированного проектирования и производства оборудования, а также освоения новых технологических линий для серийного и опытного производства кристаллов интегральных схем с минимальными топологическими нормами. Важным направлением становится промышленное освоение фабрик с технологиями гетероинтеграции, а также развитие производств на основе SiGe, GaN-on-SC, InP и алмаза. Существенное значение приобретает разработка и освоение производства специальных материалов, включая полупроводниковые, литографические, расходные материалы, высокочистые металлы и другие компоненты.

Важной задачей становится создание и внедрение средств измерений и испытательного оборудования, способных обеспечивать контроль параметров сверхвысокочастотных микросхем, полупроводниковых приборов и модулей с рабочими частотами до 650 ГГц. Особое внимание уделяется разработке средств измерения мощности, коэффициентов отражения и передачи, параметров формы и спектра сигналов, а также электромагнитных полей и антенн в высокочастотном диапазоне.

Вышеуказанные задачи требуют соответствующего метрологического обеспечения, включающего экспертизу, контроль и совершенствование комплекса мер по обеспечению точности измерений при разработке и испытаниях электронной компонент-

ной базы и радиоэлектронной аппаратуры. Важной составляющей является проверка и совершенствование применения законодательных и метрологических требований, а также координация метрологических работ внутри ведомств. Существенное значение имеет обучение и повышение квалификации специалистов-метрологов, что позволяет поддерживать высокий уровень компетентности кадров.

В практике определения показателей качества продукции применяются два основных метода: измерительный, основанный на инструментальных измерениях, и регистрационный, предполагающий подсчет событий, таких как отказы или затраты. Для электронной компонентной базы (далее – ЭКБ) и радиоэлектронной аппаратуры основным методом остается измерительный, что подтверждается разработкой кадастра технических характеристик, подлежащих инструментальному контролю. В настоящее время в этот кадастр включено более 800 параметров [1, 2].

Спектр измерительных задач в отрасли весьма широк. Он охватывает как общие задачи, связанные с измерением массы, размеров и электрических параметров, так и специальные задачи, характерные для современной электроники и информационных технологий, включая нанометрологию и информационную безопасность. Кроме того, значительное место занимают комплексные задачи, связанные с измерением промышленных помех, переходных процессов и антенных характеристик. Особо сложная ситуация наблюдается в области измерений в сверхвысокочастотном диапазоне, где отечественные средства измерений пока не способны полностью заменить импортные аналоги, а их доля достигает 75 %.

Важно отметить, что на всех этапах производства ЭКБ, начиная с материалов и заканчивая конечным продуктом, требуется приборно-аналитическое сопровождение, обеспечивающее непрерывный контроль ключевых параметров.

В таблице 1 приведен перечень физических величин, подлежащих измерению в наноиндустрии.

Таблица 1

Диапазоны измерений в наноиндустрии

Физическая величина	Диапазон измерений	Физическая величина	Диапазон измерений
Длина, м	$10^{-11} \div 1$	Доля примесей, %	$10^{-8} \div 10^{-6}$
Масса, кг	$10^{-15} \div 10^2$	Сила тока, А	$10^{-16} \div 10^2$
Время, с	$10^{-16} \div 10^6$	Напряжение, В	$10^{-11} \div 10^5$
Температура, К	$1 \div 3200$	Мощность, Вт	$10^{-17} \div 10^{10}$
Давление, Па	$10^{-11} \div 10^3$	Индуктивность, Гн	$10^{-18} \div 10^2$
Расход, м ³ /с	$10^{-7} \div 10^{17}$	Емкость, Ф	$10^{-19} \div 1$
Плотность, кг/м ³	$10^{-1} \div 10^4$	Сопротивление, Ом	$10^{-7} \div 10^{17}$
Концентрация, см ³	$10^{10} \div 10^{22}$	Частота, Гц	$10^{-4} \div 10^{10}$

Из этой таблицы очевидны метрологические требования, которые должны быть предъявлены к техническим средствам для достижения заданной

точности измерения. Для этого создается единая система такого важного направления, метрологическое обеспечение нанотехнологий и композиционных ма-

териалов, разрабатываются универсальные эталонные методы и установки, а также государственные эталоны массовой доли и концентрации веществ. Следует отметить, что в метрологическом обеспечении нуждаются как сам технологический процесс создания новых наноструктур, основанный на управлении перемещениями атомов, молекул или молекулярных систем в пространственных областях длин нанометрового диапазона, так и измерения параметров создаваемых наноустройств, а также характеристик материалов со специальными физическими и химическими свойствами. Особую задачу представляет съем и обработка измерительной информации с устройств столь малых размеров, обеспечение достоверности и метрологической надежности измерений, выполняемых при этом.

На разных этапах жизненного цикла разработки ЭКБ метрологическое обеспечение реализуется посредством разного набора составляющих процессов. Особенно важным инструментом повышения качества является метрологическая экспертиза разрабатываемой технической документации [3]. Следует отметить, что на предприятиях, подведомственных департаменту радиоэлектронной промышленности, действует руководящий документ о порядке проведения, в соответствии со ст. 14 ФЗ-102, обязательной метрологической экспертизы технической документации разрабатываемых ЭКБ.

Обязательная метрологическая экспертиза технической документации проводится аккредитованными организациями на всех этапах разработки и производства электронной компонентной базы и радиоэлектронной аппаратуры. Это позволяет выявлять и устранять ошибки на ранних стадиях, снижать риски технологических сбоев и экономических потерь. Однако на практике возникают проблемы, связанные с недостаточной подготовкой метрологов, отсутствием методических материалов и руководящих документов, особенно для гражданской продукции. Решение этих проблем видится в разработке и внедрении отраслевых документов, регламентирующих порядок проведения экспертизы, а также в организации системного повышения квалификации специалистов.

Метрологическое обеспечение тесно связано со стандартизацией и сертификацией. Необходимо отметить, что в отрасли до сих пор используются устаревшие стандарты, многие из которых требуют переработки и гармонизации с современными требованиями. Особое значение приобретает аттестация методик косвенных измерений и внесение сведений о них в федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. Только таким образом можно гарантировать достоверность результатов измерений и соответствие продукции международным стандартам.

Достаточно важной составляющей метрологического обеспечения является анализ его состояния на предприятиях ЭРЭП. Проведенный анализ состояния метрологического обеспечения на предприятиях ЭРЭП показывает, что значительная часть предприятий сталкивается с кадровым дефицитом в области метрологии, а также с трудностями в исполнении обязательных метрологических требований. Лишь треть предприятий обеспечивает соответствие своей деятельности необходимым нормативным актам и стандартам. Это свидетельствует о необходимости системных изменений в организации метрологического обеспечения на отраслевом уровне.

Для повышения качества и конкурентоспособности отечественной радиоэлектронной продукции требуется создание собственной системы метрологического обеспечения, признанной на международном уровне, а также системы оценки соответствия продукции. Важно формировать отраслевую метрологическую службу, способную координировать и контролировать выполнение всех процессов метрологического обеспечения, а также обеспечивать внедрение современных эталонов, методов и средств измерений, обновление нормативной базы и подготовку квалифицированных кадров.

Заключение

Метрологическое обеспечение является фундаментом качества и инновационного развития радиоэлектронной промышленности. Решение существующих проблем требует комплексного подхода, включающего совершенствование нормативной базы, развитие отечественной измерительной техники, подготовку специалистов и внедрение современных методов контроля. Только при выполнении этих условий возможно достижение стратегических целей отрасли и обеспечение ее устойчивого развития в условиях глобальной конкуренции.

Литература

1. Стратегия развития электронной промышленности до 2030 года;
2. Быканов В.В., Есакова М.М., Тупицина А.В., Кремнева А.В. «Роль и место метрологического обеспечения в повышении качества и эффективности в современных экономических условиях». // «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения», № 4, 2023 г., с. 9-14;
3. Быканов В.В., Клеопин А.В., Булгаков О.Ю., Подъяпольский Б.С., Булгаков В.О. «Состояние и направления совершенствования метрологического обеспечения ЭКБ в процессе разработки, испытаний и производства». // «Вестник метролога», №1 2019, с. 15-18.



ОПТОН

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

Модульная платформа для современных вычислений

CompactPCI Serial

Масштабируемость систем под конкретные задачи

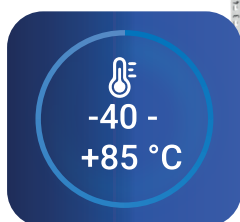
Работа в экстремальных условиях

Стандартное исполнение CompactPCI

Универсальность применения в различных средах

Высокая производительность

 Сделано в России



Научно-производственное предприятие «ОПТОН» разработало модульную платформу CompactPCI Serial, соответствующую международному стандарту PICMG S.0. Это решение обеспечивает универсальность, высокую производительность и гибкость при построении вычислительных систем различного назначения.

Ключевые возможности:

- **Модульность** – платформа позволяет создавать системы любой конфигурации: от рабочих станций до управляющих бортовых комплексов, серверов видеонаблюдения, кластеров обработки данных и др.
- **Совместимость** – модули работают с оборудованием других производителей, что снижает зависимость от одного поставщика.
- **Масштабируемость** – возможность поэтапного наращивания мощности без полной замены инфраструктуры.
- **Надежность** – устойчивость к экстремальным условиям эксплуатации.

Преимущества для заказчиков:

- Сокращение затрат на модернизацию
- Ускоренный переход на современные аппаратные решения
- Гибкость интеграции в существующие системы

Платформа CompactPCI Serial от НПП «ОПТОН» – это отечественная разработка, соответствующая мировым стандартам и готовая к применению в критически важных отраслях, включая промышленную автоматизацию и оборонный комплекс.



+ 7 (495) 150-30-70



info@nppopton.ru



125167 г. Москва
Авиационный пер., д.5



www.nppopton.ru

ВЧ и СВЧ ПОГЛОТИТЕЛИ РЕЗИСТИВНЫЕ

(фиксированные аттенюаторы
и эквиваленты нагрузок)

- Входная импульсная мощность до 10 000 Вт
- Двухнаправленные
- Диапазон ослабления от 3 дБ до 60 дБ
- Возможность выбора модели с активным и пассивным охлаждением
- Возможность выбора типа коаксиальных соединителей: 7/16, N, III или SMA



- ✓ Современная
производственная база
- ✓ Высокое качество
- ✓ Индивидуальный
подход к потребителю
- ✓ Изделия по вашему ТЗ

erkonpark.ru



Связаться с нами:

По общим вопросам

8 800 444 30 99

г. Нижний Новгород,
ул. Нартова, д.6
e-mail: info@erkonpark.ru

Группа продаж
+7 (831) 202 25 52
sales@erkon-nn.ru