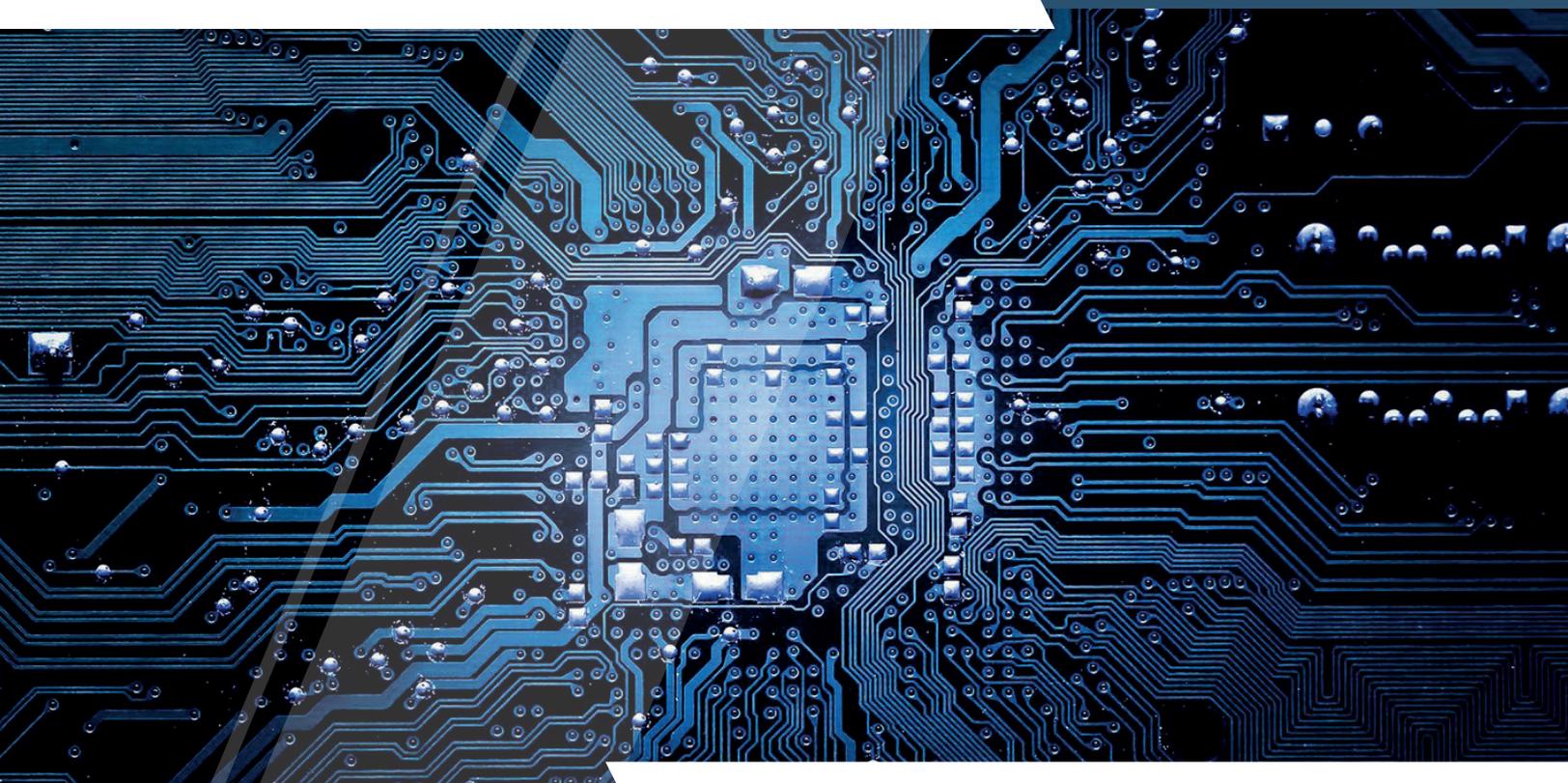


4⁽¹⁶⁾ | РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: 2024 | ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ

КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТЬ

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
ИЗГОТAVЛИВАЮТСЯ 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 КОМПЕТЕНЦИИ В
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ОТРАСЛИ**

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: vniir@vniir-m.ru, сайт: vniir-m.ru

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



АНО «ЦЕНТР СЕРТИФИКАЦИИ, ОБУЧЕНИЯ И КОНСАЛТИНГА «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. 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 4(16)/2024 (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
- А.С. Сигов**, академик РАН
- В.Б. Штешенко**, кандидат технических наук
- А.А. Рахманов**, доктор 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
- Д.А. Руденко**, кандидат военных наук
- Ю.В. Рубцов**, генеральный директор АО «ЦКБ «Дейтон»
- 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 05.12.2024 г.

Подписано к печати 25.12.2024 г.

Тираж 350 экз.

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Иванов И.С. Принципы и подходы к формированию отраслевой системы информационного взаимодействия и информационной поддержки процессов развития и совершенствования системы стандартизации радиоэлектронной продукции гражданского назначения..... 2

Иванов И.С., Кузнецов С.В., Трусов В.А. Формирование системы информационного взаимодействия субъектов радиоэлектронной промышленности..... 9

РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ

Бондаренко А.С., Аскерко А.Н., Ковтун А.Ю. Наблюдение формирования протяженных дефектов в кремнии в сканирующем электронном микроскопе в процессе отжига IN-SITU 14

Денисов А.Н., Фёдоров Р.А. Серия микросхем гальванической развязки 18

Амеличев В.В., Кадочкин А.С., Генералов С.С., Горелов Д.В. Моделирование оптического логического элемента на основе многомодового интерференционного делителя 2x2..... 21

КАЧЕСТВО И НАДЁЖНОСТЬ

Синельников Ю.Г. О значимости статистических оценок при испытаниях на надёжность 26

Шведов А.В. Совершенствование процесса входного контроля электронной компонентной базы, поставляемой для аппаратуры широкого спектра назначения..... 31

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ

Булгаков О.Ю., Подъяпольский С.Б., Ковганич Ю.В. Об особенностях стандартизации в области технических требований к современным подходам при разработке и производстве электронной продукции..... 36

ПРИНЦИПЫ И ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ОТРАСЛЕВОЙ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОДУКЦИИ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

PRINCIPLES AND APPROACHES TO THE FORMATION OF AN INDUSTRY SYSTEM OF INFORMATION INTERACTION AND INFORMATION SUPPORT OF THE PROCESSES OF DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF THE SYSTEM OF STANDARDIZATION OF RADIO ELECTRONIC PRODUCTS FOR CIVIL PURPOSE

Иванов И.С., генеральный директор ФГБУ «ВНИИР», +7 (495) 586-17-21, ivanov@vniir-m.ru

Ivanov I.S., General Director of FGBI "VNIIR", +7 (495) 586-17-21, ivanov@vniir-m.ru

Аннотация. Рассмотрены принципы и подходы формирования отраслевой системы информационного взаимодействия и информационной поддержки процессов развития и совершенствования системы стандартизации радиоэлектронной продукции гражданского назначения. Предложена организационно-информационная поддержка, система классификации и информационная поддержка процессов принятия управленческого решения по выполнению предприятиями требований стандартизации и метрологического обеспечения процесса разработки и производства электронной и радиоэлектронной продукции и ЭКБ.

Annotation. The principles and approaches to the formation of an industry-wide system of information interaction and information support for the processes of development and improvement of the standardization system for radio-electronic products for civilian use are considered. Organizational and information support, a classification system and information support for management decision-making processes for enterprises to fulfill the requirements of standardization and metrological support for the development and production of electronic and radio-electronic products and electronic components are proposed.

Ключевые слова: информационные ресурсы, информационная поддержка, научно-технологическое развитие, система классификации, управленческие решения.

Keywords: information resources, information support, scientific and technological development, classification system, management decisions.

Научная специальность: 2.3.8. Информатика и информационные процессы.

Введение

Исследование информационных и организационных процессов отраслевой системы информационного взаимодействия и информационной поддержки развития и совершенствования системы стандартизации радиоэлектронной продукции гражданского назначения, основывается на системном подходе, который позволяет комплексно учитывать как организационные, так и информационные аспекты. Формирование отраслевой системы рассматривается в виде сложной самоорганизующейся синергетической организационно-информационной системы (рис. 1), включающей в свой состав множество субъектов радиоэлектронной промышленности (далее – РЭП), информационных ресурсов, информационных и организационных процессов, с множеством взаимосвязей между ними. Субъектами РЭП являются разработчики, производители и потребители радиоэлектронной аппаратуры (далее – РЭА) и электронной компонентной базы (далее – ЭКБ), а также органы федеральной и региональной исполнительной власти, обеспечивающих нормативно-правовую поддержку развития и стимулирования радиоэлектронной отрасли.

Стратегией научно-технологического развития (далее – НТР) Российской Федерации предусмотрено «формирование эффективной системы управления в области науки, технологий, производства и осуществления инвестиций в эту область, обеспечив единую научно-технологическое



Иванов И.С.

пространство, ориентированное на решение государственных задач и удовлетворение потребностей экономики и общества» [1], что невозможно без четкого понимания сущности протекающих процессов, в том числе и в действующей системе стандартизации и метрологического обеспечения производственных и технологических процессов, связанных с разработкой и производством РЭА и ЭКБ.

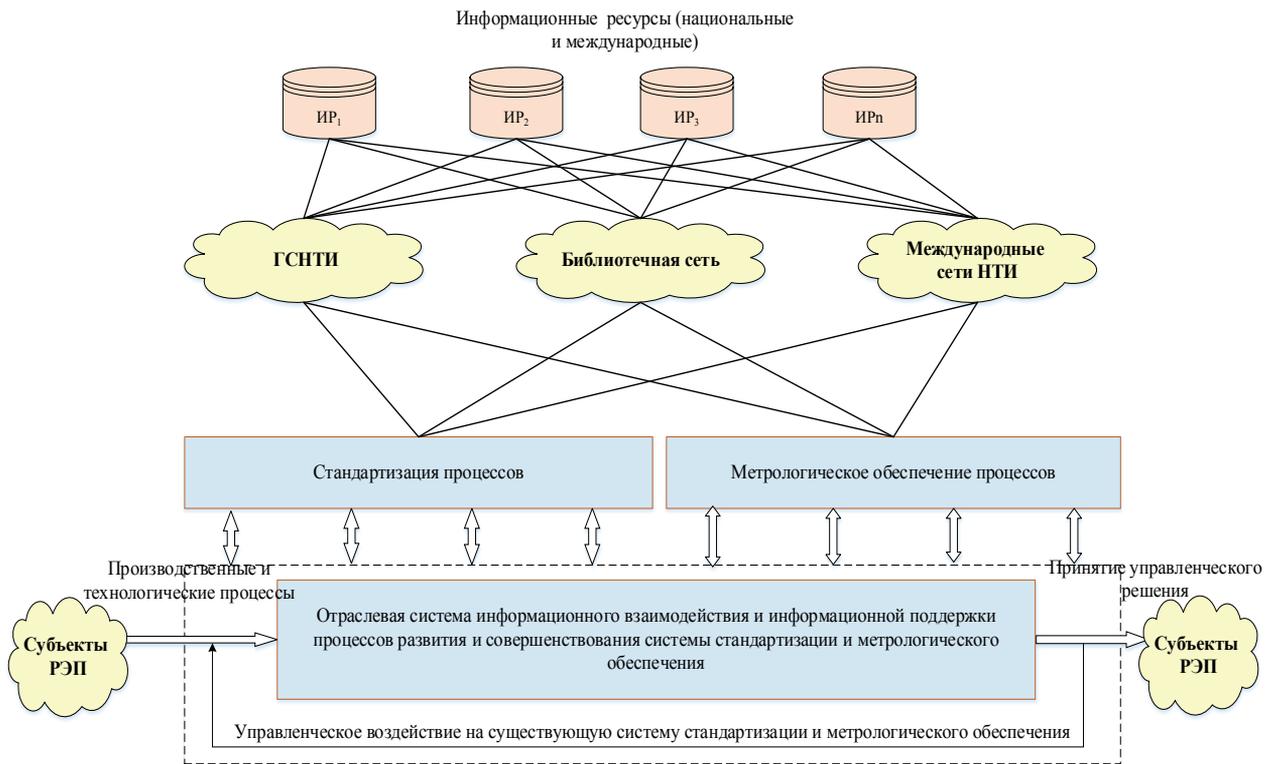


Рис. 1. Структурная модель отраслевой системы информационного взаимодействия и информационной поддержки процессов развития и совершенствования системы стандартизации радиоэлектронной продукции гражданского назначения

В общем случае отраслевая система информационного взаимодействия и информационной поддержки процессов развития РЭП нацелена на оценку (анализ) существующего положения дел у субъектов радиоэлектронной промышленности, на выработку управленческих воздействий на процессы стандартизации и метрологического обеспечения производственных и технологических процессов, связанных с разработкой и производством РЭА и ЭКБ. Информационная поддержка данных процессов должна базироваться на информационных ресурсах государственной системы научно-технической информации (далее – ГСНТИ) [2], на справочно-библиотечных фондах (далее – СИФ) библиотечной сети и международных ресурсах научно-технической информации (далее – МНТИ).

Отраслевая система информационного взаимодействия и информационной поддержки процессов развития и совершенствования системы стандартизации радиоэлектронной продукции гражданского назначения является неотъемлемой частью формируемой экосистемы НТР отраслей РЭП (далее – Экосистема НТР РЭП). Экосистема НТР РЭП представляет собой организационно-информационную систему, которая с использованием организационных механизмов, баз данных и цифровых сервисов обеспечивает кластеризацию данных и знаний вокруг задач, предложений, идей и проблем, стоящих перед РЭП, о возможностях разработчиков и производителей РЭА и ЭКБ удовлетворять потребности субъектов экономической деятельности. В основу такой системы заложен единый контур сбора первичных данных и информационного обеспечения, информационно-аналитической поддержки и информационной интеграции всех субъектов научно-технологической деятельности в отраслях

экономики, в том числе с использованием информационных ресурсов и возможностей ГСНТИ [3].

Существующая система управления развитием РЭП показывает, что в силу недостаточного соответствия (информационного взаимодействия) организационной и информационной структур субъектов РЭП, возникают противоречия между возрастающими требованиями к системе управления развитием системы стандартизации и метрологического обеспечения, оказывающим влияние на разработку и производство электронной и радиоэлектронной продукции, и несоответствующим состоянием обеспечивающих эти процессы подсистем (технологий, материалов, метрологии, стандартизации, контроля качества и других), нормативно-правовой и нормативно-технической базы в РЭП. Для понимания существующей системы стандартизации и метрологического обеспечения процесса разработки и производства РЭА и ЭКБ, как научного познания, целесообразно осуществлять информационную поддержку этих процессов на хорошо зарекомендовавших себя методах индукции и экспертной оценки.

Исследования информационных процессов на основе метода индукции (метода обобщения) выстраивает логический переход от частного к общему, от менее общего к более общему знанию, определяются общие свойства и признаки и как результат всего этого – осуществляется обобщение полученной информации и знаний. Полученные обобщенные знания позволяют более глубоко исследовать и отразить действительность, проникнуть в сущность рассматриваемых процессов. Метод экспертной оценки обеспечивает проведение экспертами интуитивно-логического анализа проблемы с количественной и качественной оценкой суждений и фор-

мальной обработкой результатов. Получаемое в результате обработки обобщенное мнение экспертов принимается как решение проблемы. Комплексное использование интуиции (неосознанного мышления), логического мышления и количественных оценок с их формальной обработкой позволяет получить эффективное решение проблемы. Метод экспертной оценки включает в себя информационные, организационные, логические и математико-статистические процедуры, направленные на получение от специалистов необходимых знаний, их анализ и обобщение с целью подготовки и выбора рациональных решений.

Основываясь на системном подходе и методах познания, представляется возможным сформулировать принципы и подходы к системе информационного взаимодействия и информационной поддержки процессов стандартизации и метрологического обеспечения в РЭП, что является важным элементом информационной поддержки системы НТР РЭП России [4].

Основная часть

Принципы и подходы к формированию отраслевой системы информационного взаимодействия и информационной поддержки процессов развития и совершенствования системы стандартизации

Проведенный анализ проблем, задач и факторов, оказывающих влияние на развитие радиоэлектронной продукции гражданского назначения, а также учитывая анализ задач информационной поддержки и организационно-информационного обеспечения данных процессов, позволяет сформулировать принципы и подходы создания и организации функционирования информационных систем и процессов поддержки и совершенствования существующей системы стандартизации и метрологического обеспечения

РЭП. Основные принципы включают в себя:

1. Принцип взаимосвязи субъектов системы стандартизации и метрологического обеспечения с информационной и информационно-аналитической поддержкой процессов разработки и производства радиоэлектронной продукции гражданского назначения;
2. Принцип организации информационного взаимодействия субъектов разработки, производства и использования радиоэлектронной продукции;
3. Принцип информационной поддержки субъектов разработки, производства и использования радиоэлектронной продукции оперативной и достоверной научно-технической информацией.

Основываясь на сформулированных принципах, к основополагающим подходам формирования отраслевой системы информационного взаимодействия и организационно-информационной поддержки процессов развития и совершенствования системы стандартизации, следует отнести:

1. Организационно-информационную поддержку процесса принятия управленческого решения по выполнению предприятиями требований стандартизации и метрологического обеспечения процесса разработки и производства электронной и радиоэлектронной продукции и ЭКБ;
2. Систему классификации радиоэлектронной продукции, обеспечивающей информационную поддержку требований стандартизации и метрологического обеспечения процесса разработки и производства электронной и радиоэлектронной продукции и ЭКБ;
3. Информационную поддержку процесса стандартизации и метрологического обеспечения по разработке и производству электронной и радиоэлектронной продукции гражданского применения ресурсами ГСНТИ, СИФ и МНТИ.

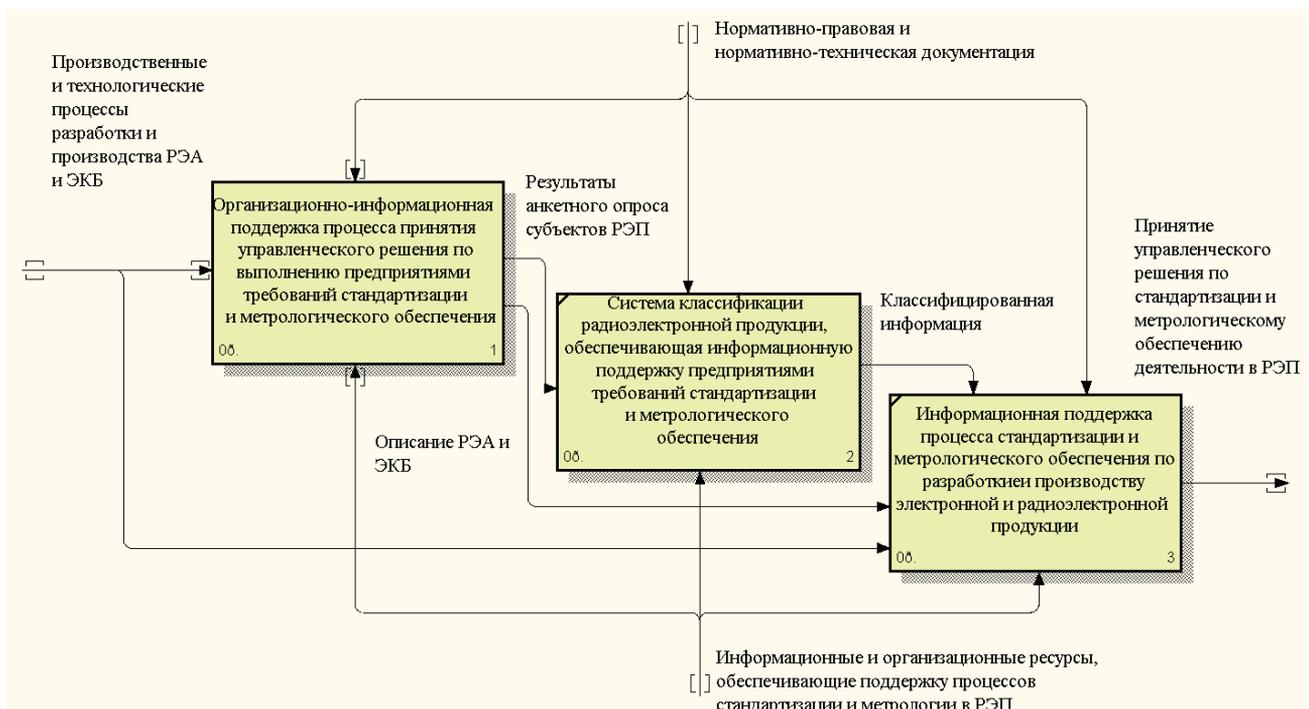


Рис. 2. Процедурная модель формирования отраслевой системы информационного взаимодействия и информационной поддержки процессов развития и совершенствования системы стандартизации и метрологического обеспечения

Исходя из сформулированных принципов и подходов представляется возможным предложить процедурную модель формирования отраслевой системы информационного взаимодействия и информационной поддержки процессов развития и совершенствования системы стандартизации и метрологического обеспечения, представленную на рис. 2.

Организационно-информационная поддержка принятия управленческого решения по выполнению требований стандартизации и метрологического обеспечения процессов разработки и производства электронной и радиоэлектронной продукции и ЭКБ

Организационно-информационная поддержка процесса выполнения предприятиями требований стандартизации и метрологического обеспечения, предъявляемых к продукции, технологиям, организационным процессам, содержащихся в стандартах на разработку и производство РЭА и ЭКБ (рис. 3) включает в свой состав следующие организационно-информационные процедуры:

- разработка анкет, организация и проведение опроса предприятий РЭП по вопросу выполнения предприятиями технических (метрологических) требований, предъявляе-

мых к продукции, технологиям, организационным процессам, содержащихся в стандартах на разработку и производство ЭКБ;

- сбор данных о выполнении технических (метрологических) требований на стадиях жизненного цикла продукции РЭА и ЭКБ: от исследований и проектирования до снятия с производства (ремонта, эксплуатации);

- сбор данных по выполнению предприятиями метрологических требований, предъявляемых к продукции, технологиям, организационным процессам, содержащихся в стандартах на разработку и производство РЭА и ЭКБ;

- информационно-аналитическая обработка данных, с целью выявления проблем и недостатков в области выполнения метрологических требований, предъявляемых к продукции, технологиям, организационным процессам, содержащихся в стандартах на разработку и производство РЭА и ЭКБ;

- информационно-аналитическая обработка данных, с целью определения проблем обеспечения кадровым потенциалом производственных процессов контроля метрологических требований, предъявляемых к продукции, технологиям, организационным процессам, содержащихся в стандартах на разработку и производство РЭА и ЭКБ.



Рис. 3. Процедурная модель анализа выполнения предприятиями требований стандартизации и метрологического обеспечения, предъявляемых к продукции, технологиям, организационным процессам, содержащихся в стандартах на разработку и производство РЭА и ЭКБ

В рамках организационно-информационной поддержки принятия управленческого решения по выполнению предприятиями требований стандартизации и метрологического обеспечения процессов разработки и производства электронной и радиоэлектронной продукции и ЭКБ осуществляется с использованием классической модели принятия управленческого решения (рис. 4), которая включает следующие процедуры:

- информационную поддержку процесса установления (определения) целеполагания для действующей системы стандартизации и метрологического обеспечения предприятия, на основе анализа лучших национальных и мировых практик;

- организационно-информационную поддержку планирования процессов необходимых изменений в действующих и (или) разработку новых нормативных доку-

ментов по стандартизации и метрологическому обеспечению;

- разработку, согласование, утверждение, обновление, внесение поправок и отмена документов по стандартизации;
- обеспечение контроля жизненного цикла производства РЭА и ЭКБ;

- анализ практики применения новых подходов в обеспечение стандартизации и метрологического обеспечения производственных и технологических процессов;
- формирование нормативно-правовой, нормативно-технической документации, обеспечивающей управленческое воздействие на систему стандартизации и метрологического обеспечения производства.

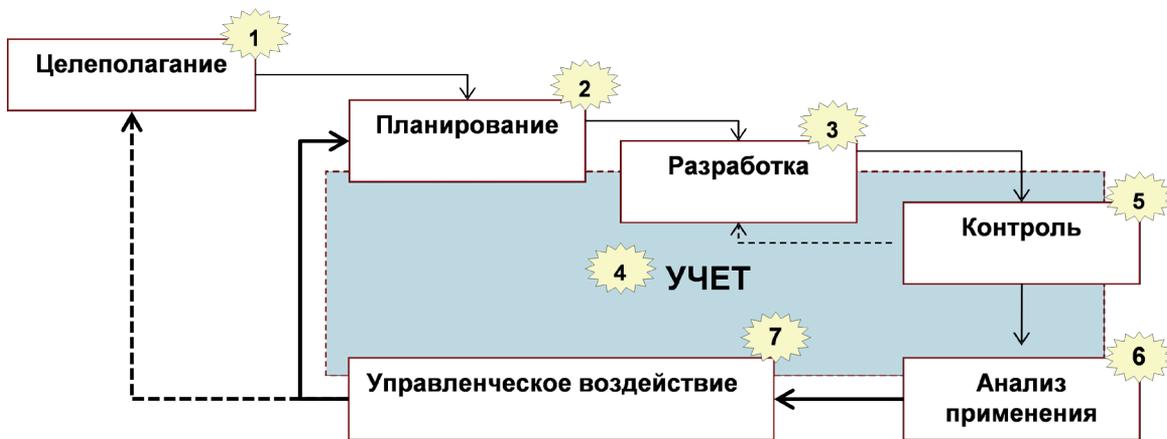


Рис. 4. Процедурная модель анализа действующей системы стандартизации и метрологического обеспечения разработки и производства электронной и радиоэлектронной продукции

На протяжении всего жизненного цикла функционирования системы осуществляется фиксация (учет) данных, характеризующих процессы принятия управленческого решения.

К участию в разработке документов по стандартизации и метрологическому обеспечению привлекаются все заинтересованные субъекты РЭП: органы исполнительной власти, разработчики, производители и потребители радиоэлектронной продукции. От их информационной интеграции (взаимодействия) зависит эффективность и результативность работ по разработке и производству радиоэлектронной продукции.

Каждый этап исследования и анализа действующей системы стандартизации и метрологического обеспечения, от целеполагания до принятия управленческого воздействия, базируется на достоверной и своевременной информационной поддержке производственных и технологических процессов разработки и производства РЭА и ЭКБ.

Источниками данных являются результаты анкетного опроса предприятий РЭП, а также нормативная документация предприятий, регулирующая систему стандартизации и метрологического обеспечения процессов разработки и (или) производства РЭА и ЭКБ.

Система классификации радиоэлектронной продукции, обеспечивающая информационную поддержку предприятиями требований стандартизации и метрологического обеспечения процесса разработки и производства РЭА и ЭКБ

Система классификации (рис. 5) нацелена на обеспечение однозначной классификации разрабатываемой и производимой продукции (технологий) радиоэлектронной промышленностью.

Классификационная система:

- гарантирует полноту охвата всех видов выпускаемой и разрабатываемой радиоэлектронной продукции;
- обеспечивает гибкость классификации продукции РЭП;
- обеспечивает возможность динамического (автоматического) расширения системы классификации;
- способствует проведению всестороннего исследования, как тенденций развития отрасли, так и специфических свойств радиоэлектронной продукции;
- обеспечивает возможность автоматической привязки классификатора продукции РЭП к классификаторам ОКПД 2, ОКВЭД 2, ТН ВЭД ЕАЭС и другим.

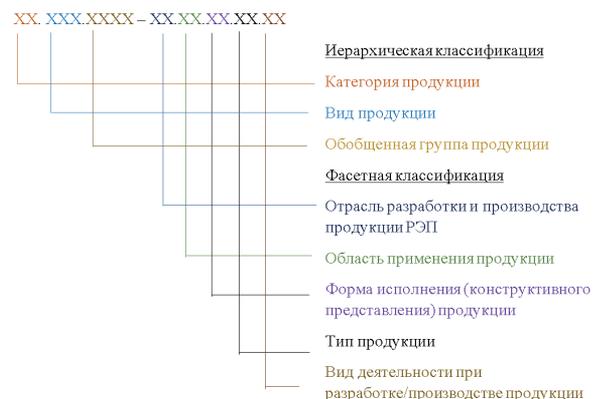


Рис. 5. Система классификации радиоэлектронной продукции

Основными задачами классификационной системы являются:

- создание условий для формирования единого информационного пространства производителей, разработчиков и потребителей продукции РЭП;

- обеспечение углубленного анализа состояния отрасли по разработкам и производству продукции радиоэлектронной промышленности РЭА, ЭКБ и технологий в радиоэлектронной промышленности (далее – ТРЭП), связанных с разработкой и производством РЭА и ЭКБ;
 - обеспечение автоматизированного способа классификации РЭА, ЭКБ и ТРЭП;
 - обеспечение совместимости информационных ресурсов и систем информационной поддержки в производстве и разработке РЭА, ЭКБ и ТРЭП;
 - обеспечение информационного взаимодействия Департамента радиоэлектронной промышленности Министерства промышленности и торговли Российской Федерации и организаций, работающих по реализации программ (проектов) в РЭП;
 - гармонизация классификационной системы с общероссийскими и международными классификаторами.
- К основным принципам классификационной системы относятся:
- Открытость и доступность для пользователей;
 - Полнота охвата всех видов выпускаемой и разрабатываемой радиоэлектронной продукции;
 - Гибкость классификации;
 - Возможность динамического (автоматического) расширения системы классификации;
 - Проведение всестороннего исследования выпускаемой и разрабатываемой РЭА, ЭКБ и ТРЭП, как тенденций развития отрасли, так и специфических технических свойств продукции и технологий;
 - Обязательность применения классификатора при формировании отраслевых информационных ресурсов и систем.

Классификационная система строится по смешанно-иерархически-фасетному принципу, с использованием смешанного параллельно-порядкового метода кодирования, что позволяет осуществлять гибкую классификацию продукции, тем самым обеспечить более четкую информационную поддержку предприятиями требований стандартизации и метрологического обеспечения процесса разработки и производства РЭА и ЭКБ.

Исходными данными для классификации информации являются результаты анкетного опроса, а также информация, характеризующая производственные и технологические процессы, связанные с разработкой и производством РЭА и ЭКБ.

Информационная поддержка системы стандартизации и метрологического обеспечения процесса разработки и производства электронной и радиоэлектронной продукции гражданского применения

Информационная поддержка процессов разработки и производства РЭА и ЭКБ (рис. 6) относится к классу сложных организационно-информационных систем, включающей в свой состав множество организационных и информационных компонентов. К организационным компонентам относятся субъекты РЭП, как потребители информационных ресурсов, и субъекты информационной поддержки, как держателей (производителей) информации (СИФ, баз и банков данных ГСНТИ и МНТИ).

Информационная поддержка, в первую очередь, должна базироваться на информационных ресурсах ГСНТИ, включающих в свой состав справочно-информационные фонды, базы и банки данных научно-технической информации.

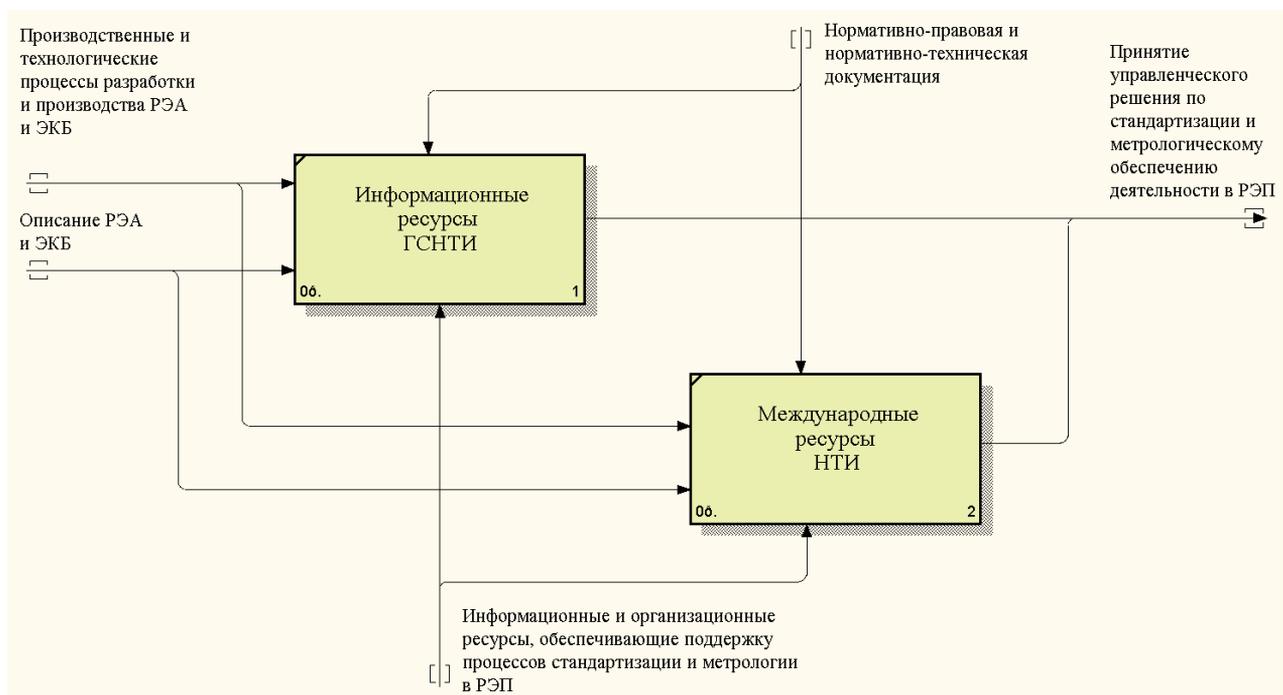


Рис. 6. Процедурная модель информационной поддержки системы стандартизации и метрологического обеспечения процессов разработки и производства электронной и радиоэлектронной продукции гражданского применения

Наибольший интерес в ГСНТИ представляют информационные ресурсы:

- Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ РАН) – содержат обширный массив ретроспективной и текущей информации по точным, естественным, техническим и прикладным наукам, сформированный на основе литературы, получаемой более чем из 80 стран на 40 языках, включают отечественные и иностранные периодические и продолжающиеся издания, монографии и брошюры, тематические сборники, труды научных организаций и учебных заведений, материалы конференций, съездов, конгрессов, симпозиумов, семинаров, авторефераты диссертаций, справочные и информационные издания и рукописи;

- Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) – содержат данные научного цитирования публикаций российских авторов из более 6000 российских журналов;

- Федерального института промышленной собственности (ФИПС) – содержат информацию о результатах интеллектуальной собственности, технических результатах и способах;

- Государственной публичной научно-технической библиотеки – содержат в своем составе книги, продолжающиеся и периодические издания, авторефераты диссертаций и неопубликованные переводы научно-технической литературы, труды российских ученых, научных и образовательных организаций, справочные и библиографические издания, производственно-практические и научно-популярные издания, учебники и учебные пособия;

- Российского института стандартизации Росстандарта – содержат ГОСТ, ГОСТ Р, ГОСТ ИСО, ГОСТ МЭК, ГОСТ Р ИСО/МЭК, ГОСТ Р ИСО, ГОСТ Р МЭК и др., общероссийские и межгосударственные классификаторы, ежемесячные информационные указатели и др.;

- Центров научно-технической информации Российского энергетического агентства Минэнерго России – содержат информацию о региональных информационных фондах, базах и банках данных, осуществляющих подготовку, издание и распространение информации о результатах научно-технической деятельности организаций, находящихся в регионах Российской Федерации.

В условиях быстроразвивающейся электронной и радиоэлектронной отрасли немаловажным является владение зарубежной информацией. К основным источникам зарубежной информации следует отнести:

- Международную сеть научно-технической информации *STN International* – более 300 баз данных по ключевым направлениям развития, содержат исследовательскую и патентную литературу, химические структуры, последовательности и свойства материалов, научные статьи, информацию о материалах конференций, диссертации, рецензии, материалы по биологии и др.;

- Государственное управление по оборонной науке, технологиям и промышленности Китая (*SASTIND*) – содержат научные журналы, материалы по развитию национальной науки в области обороны и техники, научно-популярные статьи, информация о текущих технических проектах;

- Библиотеку конгресса США (крупнейшего мирового ресурса научной и научно-технической информации) – содержит различные документы НТИ, включая результаты исследований в форме диссертаций, докладов, монографий и иных публикаций, технические отчеты и стандарты;

- *Elsevier* (Издательский дом) – содержат базы данных научных публикаций периодических и непериодических источников информации, статьи, научные исследования, книги, монографии, научные труды и др.;

- *Scopus* (база данных научных работ, исследований, рефератов, цитирований, разработанная издательством *Elsevier*) – охватывает более 16 млн профилей авторов и 70 тыс. профилей научных учреждений, включает более 25,1 тыс. журнальных статей и более 210 тыс. книг;

- *Web of Science* (цифровая платформа) – открывает доступ к нескольким базам данных со справочными материалами и базам цитирования из академических журналов, материалов конференций и других документов (статьи, обзоры, рефераты и др.).

В рамках информационной поддержки необходимо учитывать, что действующая система стандартизации и метрологического обеспечения, в первую очередь нацеленная на улучшение качества разработки и производства РЭА и ЭКБ, должна базироваться на национальных информационных ресурсах:

- документах национальной системы стандартизации;
- общероссийских классификаторах;
- стандартах организаций;
- технических условиях;
- сводах правил;

- документах по стандартизации, которые устанавливают обязательные требования в отношении объектов стандартизации и метрологического обеспечения;

- наилучших практик (достижений) в области стандартизации и метрологического обеспечения процессов разработки и производства РЭА и ЭКБ;

- технических решениях и способах разработки и производства РЭА и ЭКБ;
- технических спецификациях (отчетах).

Важное место в информационной поддержке занимает обеспечение субъектов РЭП своевременной и достоверной зарубежной информацией о:

- документах международной системы стандартизации;
- документах по стандартизации, которые устанавливают обязательные требования в отношении объектов стандартизации и метрологического обеспечения РЭП за рубежом;

- наилучших зарубежных практик (достижений) в области стандартизации и метрологического обеспечения процессов разработки и производства РЭА и ЭКБ;

- технических решениях и способах разработки и производства РЭА и ЭКБ за рубежом.

Информационные ресурсы ГСНТИ, СИФ и МНТИ должны быть включены в единый информационный контур поддержки принятия решений, должны комплексно обеспечивать информационную поддержку процессов разработки и производства РЭА и ЭКБ, в рамках жизненного цикла радиоэлектронной продукции.

Заключение

Таким образом, сформулированные принципы и подходы к формированию отраслевой системы информационного взаимодействия и информационной поддержки процессов развития и совершенствования системы стандартизации разработки и производства радиоэлектронной продукции позволяют:

- осуществлять исследование информационных и организационных процессов системы информационного взаимодействия и информационной поддержки развития и совершенствования системы стандартизации радиоэлектронной продукции гражданского назначения;

- обеспечить гибкую классификацию радиоэлектронной продукции на основе смешанного иерархически-фасетного принципа, с использованием параллельно-порядкового метода кодирования, тем самым обеспечивая информационную поддержку предприятиями требований стандартизации и метрологического обеспечения процессов разработки и производства РЭА и ЭКБ;

- обеспечить информационную поддержку процесса выполнения предприятиями требований стандартизации и метрологического обеспечения, предъявляемых к продукции, технологиям, организационным процессам, содержащимся в стандартах на разработку и производство РЭА и ЭКБ;

- обеспечить информационную поддержку процессов разработки и производства РЭА и ЭКБ на базе информационных ресурсах ГСНТИ, СИФ и МНТИ, что в конечном итоге приведет к повышению качества разработки и производства РЭА и ЭКБ, за счет информационной поддержки выполнения предприятиями требований стандартизации и метрологического обеспечения.

УДК 004.04

Литература

1. Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации / Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» // Электронный ресурс: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402280003> (дата обращения 21.05.2024).
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 24.07.1997 № 950 «Об утверждении Положения о государственной системе научно-технической информации» // URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_86992/ (дата обращения 16.07.2024).
3. Иванов И.С. Формирование экосистемы информационной поддержки научно-технологического развития отраслей радиоэлектронной промышленности / Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2023), материалы 16-й международной конференции, 26–28 сентября 2023 г., под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна, Москва – М.: ИПУ РАН, 2020 С. 867-872. // Электронный ресурс: <https://mlsd2023.ipu.ru/proceedings/0867.pdf> (дата обращения 23.05.2024).
4. Трусов А.В. Концептуальная модель системы информационной поддержки научно-технологического развития России // Электронный ресурс: труды 13-й международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем», 28–30 сентября 2020 г., Москва / А.В. Трусов, В.А. Трусов. – электрон. текст. дан. – М: МНИИПУ. – 2020. – 1 CD-ROM. – С. 990-995.

**ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
СУБЪЕКТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**FORMATION OF A SYSTEM OF INFORMATION INTERACTION
OF RADIO-ELECTRONIC INDUSTRY SUBJECTS**

Иванов И.С., генеральный директор, +7 (495) 586-17-21, ivanov@vniir-m.ru;

Кузнецов С.В., к. п. н., заместитель начальника научно-методического управления,
+7 (495) 586-17-21 (доб. 2023), kuznetsovsv@vniir-m.ru;

Трусов В.А., д. т. н., доцент, начальник управления исследований систем и процессов, ФГБУ «ВНИИР», +7 (495) 586-17-21
(доб. 1203), trusov_va@vniir-m.ru

Ivanov I.S., General Director, +7 (495) 586-17-21, ivanov@vniir-m.ru;

Kuznetsov S.V., candidate of psychological sciences, Deputy Head of the Scientific and Methodological Department,
+7 (495) 586-17-21 (add. 2023), kuznetsovsv@vniir-m.ru;

Trusov V.A., doctor of technical sciences, associate professor, Head of the Department research processes
and systems, FGBI "VNIIR", +7 495 586 17 21 (add. 1203), trusov_va@vniir-m.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы информационного взаимодействия государственного сектора, бизнеса, институтов развития и предпринимательского сообщества в интересах принятия исключительных мер по обеспечению технологического суверенитета, максимальному исключению импортозависимости.

Annotation. *This article examines the issues of information interaction between the public sector, business, development institutions and the business community in the interests of taking exceptional measures to ensure technological sovereignty and the maximum exclusion of import dependence.*

Ключевые слова: научно-технологическое развитие, информационное взаимодействие, экспертная оценка, цифровая платформа, радиоэлектронная промышленность.

Keywords: scientific and technological development, information interaction, expert assessment, digital platform, radio-electronic industry.

Научная специальность: 2.3.8. Информатика и информационные процессы.

Введение

Электронная и радиоэлектронная промышленность (далее – РЭП), являясь ключевой отраслью экономики, играет важнейшую роль в достижении национальных целей, стратегических задач развития Российской Федерации, вносит существенный вклад в обеспечение ускоренного внедрения цифровых технологий в экономике и социальной сфере. Вместе с тем, серьезное технологическое отставание отрасли, зависимость от зарубежных технологий, недостаточность производственных мощностей и острый дефицит кадров оказывают негативное влияние на экономическое развитие и безопасность Российской Федерации.

Наличие проблемных вопросов электронной и радиоэлектронной промышленности определило необходимость объединения усилий и организации эффективного взаимодействия государственного сектора, науки, институтов развития и предпринимательского сообщества в интересах принятия исключительных мер по обеспечению технологического суверенитета, максимальному исключению импортозависимости.

Взаимодействие органов государственной власти Российской Федерации и организаций по реализации государственной политики в области научно-технологического развития государства регламентировано Указом Президента Российской Федерации от 28.02.2024 № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», определяющим перечень согласованных действий федеральных органов государственной власти, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, Российской академии наук, фондов поддержки научной, научно-технической и инновационной деятельности, институтов инновационного развития, научных и образовательных организаций, промышленных предприятий и иных организаций, непосредственно осуществляющих научную, научно-техническую и инновационную деятельность и использующих результаты такой деятельности в соответствии с их полномочиями [1].

Интеграция усилий вышеуказанных субъектов в едином информационном пространстве на цифровой платформе для решения задач, связанных с отбором и постановкой приоритетных проектов в области научно-технологического развития электронной и радиоэлектронной промышленности, позволит обеспечить эффективное решение задач, направленных на получение новых научных, научно-технических результатов, успешное инновационное развитие внутреннего рынка электронной и радиоэлектронной продукции.



Иванов И.С.



Кузнецов С.В.



Трусов В.А.

Основная часть

Механизм информационного взаимодействия субъектов радиоэлектронной промышленности при отборе перспективных предложений в области научно-технологического развития

В интересах решения задачи эффективного взаимодействия субъектов для решения задачи научно-технологического развития (далее – НТР) электронной и радиоэлектронной промышленности является актуальным формирование эффективного механизма интеграции, обеспечивающего оперативное информационное взаимодействие субъектов в процессе экспертного отбора перспективных инициативных предложений в области научно-технологического развития. В качестве основы для реализации данного механизма рассматривается Совет по развитию электронной промышленности (далее – Совет) – постоянно действующий координационно-совещательный орган при Минпромторге России.

Совет функционирует в интересах подготовки предложений, связанных с реализацией государственной политики в сфере развития радиоэлектронной промышленности (далее – РЭП) и объединяет представителей Минпромторга России, заинтересованных федеральных органов государственной власти, представителей организаций электронной и радиоэлектронной промышленности, институтов развития, образовательных и научных организаций, а также иных заинтересованных организаций и специалистов, обладающих необходимыми компетенциями. Равенство представительства данных субъектов и трехуровневая система экспертной оценки Советом инициативных предложений по приоритетным направлениям развития РЭП позволяют формировать объективные рекомендации Минпромторгу России в области стратегического планирования, развития кадрового потенциала, применения мер государственной поддержки предприятий отрасли при реализации проектов научно-технологического и инфраструктурного развития.

Алгоритм рассмотрения инициатив с указанием сроков и нормативных документов представлен на рис. 1.

В интересах своевременного и эффективного информационного взаимодействия представителей субъектов процесса экспертной оценки проектов разработана цифровая платформа сбора, первичного рассмотрения и экспертной оценки инициативных предложений по развитию электронной и радиоэлектронной промышленности (далее – Платформа). Платформа, в рамках формируемой Эко-

системы информационной поддержки научно-технологического развития радиоэлектронной промышленности [2], позволяет на единой площадке организовывать сквозной процесс рассмотрения инициативных предложений в области развития электронной и радиоэлектронной промышленности и выдавать своевременные и обоснованные рекомендации Минпромторгу России для принятия управленческих решений.

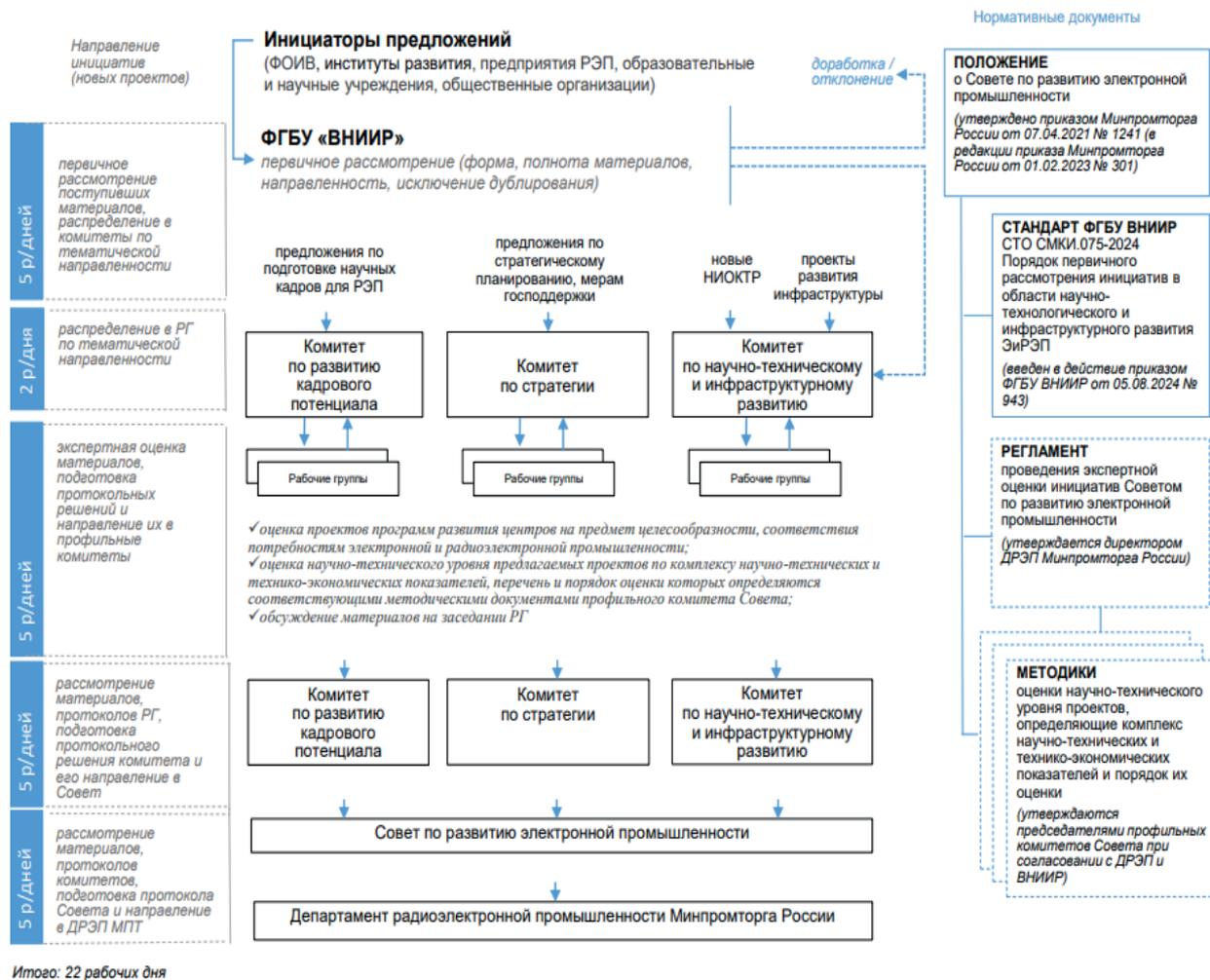


Рис. 1. Алгоритм рассмотрения инициативных предложений по приоритетным направлениям развития электронной и радиоэлектронной промышленности

Разработанными нормативными документами регламентированы процессы сбора, первичного рассмотрения и экспертной оценки инициатив.

Положением о Совете по развитию электронной промышленности определены задачи, решаемые Советом, общий порядок рассмотрения инициативных предложений, права и обязанности членов Совета [3].

Стандартом организации определен порядок сбора инициативных предложений и их первичного рассмотрения специалистами Всероссийского научно-исследовательского института радиоэлектроники (далее – Институт).

Разрабатываемые входящими в состав Совета профильными комитетами методические документы, определяют порядок оценки научно-технического уровня иници-

ативных предложений (проектов НИОКТР), как комплекса научно-технических и технико-экономических показателей, характеризующих достигаемость заявленных характеристик проектов.

Регламентом проведения экспертной оценки инициатив определен порядок трехуровневой оценки рабочими группами, профильными комитетами и Советом проектов по направлениям стратегического, научно-технологического и инфраструктурного развития РЭП, развития кадрового потенциала, включающий предмет и сроки оценок, формы документов. Регламент детально описывает порядок экспертной оценки инициатив, раскрывает технические особенности их оценки на Платформе.

Цифровая платформа рассмотрения инициативных предложений по приоритетным направлениям развития электронной и радиоэлектронной промышленности

Платформа состоит из двух модулей: портал сбора инициатив и приложение для участников коллегиальных органов, осуществляющих экспертную оценку инициатив.

Портал сбора инициатив (рис. 2) обеспечивает сбор и первичное рассмотрение инициативных предложений. Сбор инициатив осуществляется по трем тематическим направлениям: реализация проектов технологического развития, стратегические инициативы, развитие кадрового потенциала.

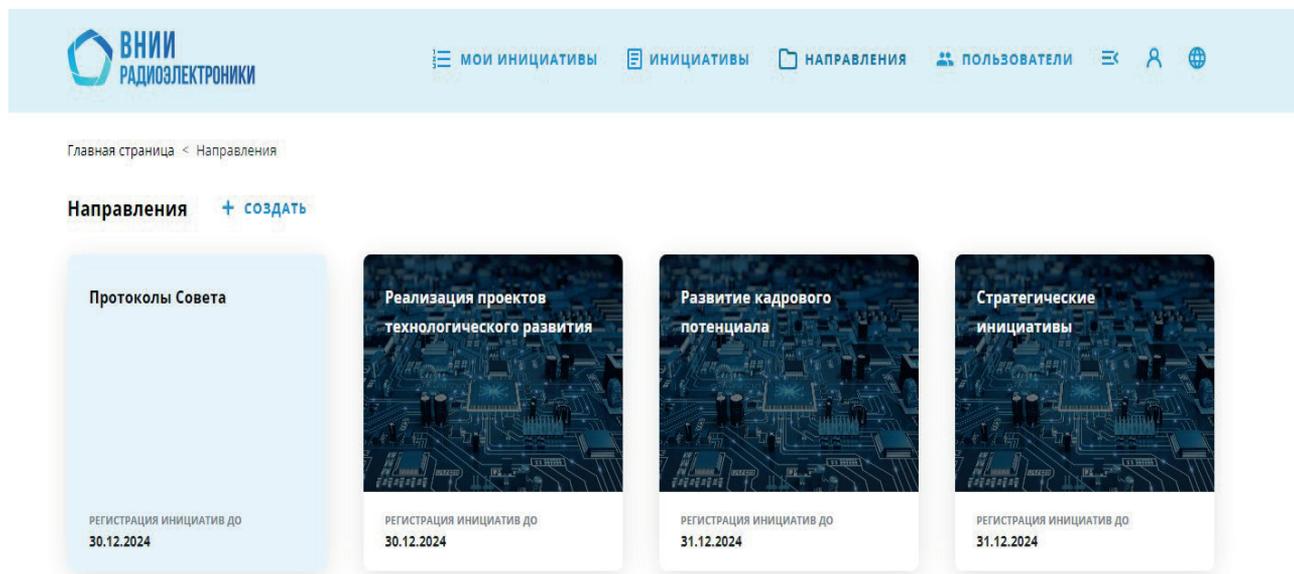


Рис. 2. Интерфейсная форма портала сбора инициатив

Инициатор, регистрируясь на Платформе, вносит сведения о своей организации, информацию об инициативе и ее тематической направленности, прикрепляет необходимые документы. Размещенные на платформе шаблоны документов позволяют исключить неоднозначность в понимании инициатором порядка оформления документации, состава предоставляемой им информации. Инициативы проходят оценку секретариатом Совета на предмет правильности отнесения к тематическому направлению и наличия прикрепленных документов, характеризующих проект, а также первичное рассмотрение специалистами Института, которое заключается в оценке их направленности на развитие РЭП, полноты и комплектности предоставленной документации, исключения дублирования с научно-исследовательскими, опытно-конструкторскими и опытно-технологическими работами, выполненными ранее (выполняемыми) за счет применения мер государственной поддержки.

По результатам первичного рассмотрения материалов инициатив специалистами института формируется заключение, которое совместно с комментариями эксперта размещается на Платформе. Положительное экспертное заключение является основанием для дальнейшей экспертной оценки материалов инициатив в Совете.

Приложение для рассмотрения инициатив (рис. 3) позволяет обеспечить проведение поэтапной оценки инициатив. Поддержанные Институтом инициативы направляются в Совет на экспертизу, предметом которой является оценка научно-технического уровня предлагаемых проектов по

комплексу научно-технических и технико-экономических показателей.

Экспертная оценка материалов инициатив осуществляется рабочими группами, профильными комитетами и непосредственно Советом, как высшей инстанцией совещательного органа. При этом, входящие в состав члены Совета имеют постоянный доступ к размещенной на Платформе информации об инициаторах, оцениваемых проектах и ранее принятых решениях. В тоже время, в ходе экспертной оценки инициативы Советом инициатору постоянно доступна информация о статусе ее рассмотрения. Инициатор, на основании решений членов коллегиального органа, на каждой стадии экспертной оценки инициативы имеет возможность отредактировать материалы.

Работа на Платформе позволяет обеспечить необходимую оперативность при рассмотрении инициатив и удобна, благодаря возможности постоянного доступа экспертов к размещенной инициаторами информации о новых проектах, возможности оперативного ознакомления с ней как при их экспертной оценке, так и при обращении к данной информации при оценке потребности отрасли при поставке других проектов.

Созданные на Платформе рабочие места членов рабочих групп, профильных комитетов, Совета обеспечивают возможность участникам коллегиальных органов получать своевременную информацию о поступлении инициативы на рассмотрение, повестке предстоящего заседания, в удобное время ознакомиться с материалами инициативы, электронного голосования, оставить комментарии по принятому решению, согласовать проект протокольного решения.



Рис. 3. Интерфейсная форма приложения для рассмотрения инициатив

Платформа является незаменимым инструментом в работе секретариата Совета, так как позволяет автоматизировать весь процесс подготовки и проведения очных заседаний и заочных голосований в режиме удаленного доступа.

Благодаря Платформе сокращается время на подготовку и распространение материалов инициатив, организацию процесса заседаний, отслеживание результатов голосования по каждому вопросу повестки заседаний, формирование проекта протокольного решения. Применение Платформы в практической деятельности Совета позволит обеспечить выдачу своевременных и обоснованных рекомендаций представителей федеральных органов исполнительной власти, институтов развития, научных и образовательных организаций, предприятий промышленности, сформированных в виде общего мнения коллегиального органа для принятия управленческих решений в области развития РЭП.

Заключение

Сформированный эффективный механизм интеграции обеспечивает оперативное информационное взаимодействие субъектов РЭП в процессе экспертного отбора перспективных инициативных предложений в области НТР, позволяет выстроить упорядоченные информационные потоки между субъектами электронной и радиоэлектронной промышленности, обеспечить информационную интеграцию и информационное взаимодействие в интересах эффективного научно-технологического развития радиоэлектронной промышленности.

Литература

1. Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» / Электронный ресурс / – Режим доступа: <https://sudact.ru/law/ukaz-prezidenta-rf-ot-28022024-n-145/>.
2. Иванов И.С. Формирование экосистемы информационной поддержки научно-технологического развития отраслей радиоэлектронной промышленности / Электронный ресурс: <https://mlsd2023.ipu.ru/proceedings/0867.pdf> (дата обращения 21.08.2024).
3. Положение о Совете по развитию электронной промышленности, утвержденное приказом Минпромторга России от 07.04.2021 № 1241 (в редакции приказа Минпромторга России от 01.02.2023 № 301).

НАБЛЮДЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОТЯЖЕННЫХ ДЕФЕКТОВ В КРЕМНИИ
В СКАНИРУЮЩЕМ ЭЛЕКТРОННОМ МИКРОСКОПЕ В ПРОЦЕССЕ ОТЖИГА IN-SITU

OBSERVATION OF EXTENDED DEFECT FORMATION IN SILICON USING
A SCANNING ELECTRON MICROSCOPE DURING IN-SITU ANNEALING

Бондаренко А.С., к. ф.-м. н., ведущий инженер испытательного центра;

Аскерко А.Н., генеральный директор;

Ковтун А.Ю., руководитель испытательного центра, АО «КБ «Ракета»,
+7 (812) 409-90-40, bond.anton@gmail.com, aan@kbrocket.ru, kau@kbrocket.ru

Bondarenko A.S., PhD, Lead engineer of the test center,

Askerko A.N., general manager,

Kovtun A.Yu., Head of the testing center, JSC "DB "Rocket",
+7 (812) 409-90-40, bond.anton@gmail.com; aan@kbrocket.ru, kau@kbrocket.ru

Аннотация. Сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) с возможностью проведения IN-SITU экспериментов по нагреву и наблюдению образца предоставляет широкие возможности для исследования динамических процессов на нано- и микроуровне. В данной работе представлено исследование динамики формирования протяженных дефектов в кремнии, имплантированном ионами гелия, в процессе IN-SITU отжига с использованием СЭМ. Основная цель исследования заключается в выявлении условий, при которых происходят ключевые изменения в структуре дефектов, а также в анализе их влияния на свойства материала.

Annotation. A scanning electron microscope (SEM) with the capability for IN-SITU heating experiments and sample observation provides a powerful tool for studying dynamic processes at the nano- and micro-scale. This paper presents a study of the dynamics of extended defect formation in helium-ion-implanted silicon during IN-SITU annealing using SEM. The primary objective of the research is to identify the conditions under which significant structural changes in defects occur, as well as to analyze their impact on the material's properties.

Ключевые слова: сканирующий электронный микроскоп, полупроводниковые устройства (кристаллы, материалы, пластины, производство, промышленность), протяженные дефекты, отжиг.

Keywords: scanning electron microscopy, semiconductor devices (crystals, materials, plates, manufacturing, industry), extended defects, annealing.

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

Введение

Кремний является основным материалом в полупроводниковой промышленности благодаря своим уникальным физическим и электронным свойствам. Однако дефекты, возникающие в кристаллической решетке кремния, могут существенно влиять на его электрические и механические характеристики, что в свою очередь сказывается на производительности полупроводниковых устройств. Особенно значимы так называемые протяженные дефекты (например, дислокации и трещины), которые могут снижать надежность и долговечность интегральных схем и других устройств на основе кремния.

Отжиг является одним из ключевых процессов в производстве полупроводников, который используется для изменения дефектной структуры материала. В процессе термической обработки дефекты могут эволюционировать, исчезать или, наоборот, увеличиваться, что делает контроль за их поведением крайне важным. Изучение формирования и динамики таких дефектов в реальном времени предоставляет уникальные возможности для глубокого понимания механизмов их роста и эволюции.

Сканирующий электронный микроскоп (далее – СЭМ) с



Бондаренко А.С.



Аскерко А.Н.



Ковтун А.Ю.

возможностью проведения in-situ экспериментов по нагреву и наблюдению образца предоставляет широкие возможности для исследования динамических процессов на нано- и микроуровне. Он позволяет непосредственно следить за изменениями структуры материала во время отжига, что позволяет лучше понять процессы формирования и развития протяженных дефектов в кремнии.

В данной работе представлено исследование динамики формирования протяженных дефектов в кремнии,

имплантированном ионами гелия, в процессе in-situ отжига с использованием СЭМ, оборудованного нагревательным столиком. Основная цель исследования заключается в выявлении условий, при которых происходит формирование протяженных дефектов, их прямое наблюдение при помощи СЭМ, определение геометрических характеристик дефектов и динамики их эволюции в процессе отжига.

Основная часть

Дислокации в кремнии. Типы дислокаций в кремнии

Кремний обладает кристаллической структурой типа алмаза, которая относится к кубической системе с гранцентрированной решеткой. Основными плоскостями скольжения в кремнии являются плоскости типа {111}. Эти плоскости обладают наибольшей атомной плотностью в структуре и, следовательно, обеспечивают минимальное сопротивление при движении дислокаций. В них происходит движение как краевых, так и винтовых дислокаций. Наибольшая активность дислокаций наблюдается при термической или механической нагрузке, когда энергия, необходимая для активации скольжения, становится достаточной для преодоления энергетических барьеров в кристаллической решетке. В решетки типа алмаза возможны две полные дислокации с вектором Бюргера $1/2 \langle 110 \rangle$, а именно винтовая дислокация, у которой вектор Бюргера параллелен линии дислокации, и так называемая 60-градусная дислокация, у которой угол между вектором Бюргера и линией дислокации равен 60 градусам [1].

Индентирование

Для исследования дислокаций требуется способ их введения. Традиционно дислокации в полупроводниковые кристаллы вводятся при помощи контролируемой пластической деформации. Это может быть скрабирование, индентирование при комнатной или повышенной температуре с последующим термическим или механическим воздействием. Место индентирования или скрабирования служит источником, генерирующим дислокации при последующем механическом или термическом нагружении до достижения необходимой их плотности [2, 3]. Такой подход, хотя и позволяет получить удобные исследования дислокационные структуры, мало применим для динамического in-situ наблюдения за возникновением и эволюцией дислокаций, поскольку дислокации в приповерхностном слое кристалла уже будут сформированы при пластической деформации. Поэтому в представленной работе был предложен иной способ введения дислокаций.

Процесс SmartCut

Для создания полупроводниковых устройств с улучшенными электрическими и термическими характеристиками используют структуры кремний на изоляторе (SOI, Silicon On Insulator), в которых тонкий слой активного

кремния размещен на слое оксида кремния, под которым располагается несущая пластина кремния. Для создания таких структур широкое распространение получила технология SmartCut, разработанная в компании SOItec [4]. Эта технология позволяет получать однородные по толщине тонкие слои полупроводника для последующего переноса на окисленную подложку.

Процесс SmartCut начинается с ионной имплантации, при которой ионы водорода внедряются в подложку полупроводникового материала, образуя слой с напряжением внутри кристаллической решетки. Затем подложка подвергается термической обработке (отжигу), которая вызывает образование микротрещин в подложке на границе имплантированного слоя. Под действием давления и тепла происходит отслаивание верхнего слоя, который затем переносится на новую подложку.

Глубина имплантации ионов в процессе SmartCut варьируется от нескольких десятков до нескольких сотен нанометров и определяется используемой энергией ионов.

Образование микротрещин при процедуре SmartCut вызвано ростом во время высокотемпературного отжига микрополостей, наполненных имплантированными атомами водорода. Такие микрополости служат встроенными в кристалл кремния источниками механического напряжения, зарождающими сперва генерацию дислокаций, а впоследствии приводящие к образованию трещин и отслаиванию части полупроводниковой пластины от подложки [5].

Таким образом, имплантация атомов инертного газа, может использоваться для образования микрополостей в приповерхностной области кристалла кремния, которые будут служить в качестве источников механического напряжения в процессе термического отжига, выполняя функцию встроенных микроинденторов. Доза имплантации должна быть подобрана таким образом, чтобы плотность образованных микрополостей не приводила к отслаиванию верхней части кристалла. Именно такой подход был применен в представленной работе. Для имплантации может применяться либо водород, либо гелий, поскольку более тяжелые ионы других инертных газов (азот, аргон или ксенон) приведут к растравливанию поверхности кремния, что недопустимо.

Экспериментальная техника

Образцы

Для проведения эксперимента были использованы образцы монокристаллических пластин кремния, выращенного по методу Чохральского, с ориентацией поверхности $\langle 100 \rangle$. В пластины кремния при помощи сфокусированного ионного пучка гелия по шаблону в виде квадрата со стороной 25 мкм была произведена имплантация ионов гелия с энергией 30 кэВ, что соответствует глубине 150 нм [6]. Оценка глубины имплантации проводилась при помощи программы SRIM [7] (рис. 1).

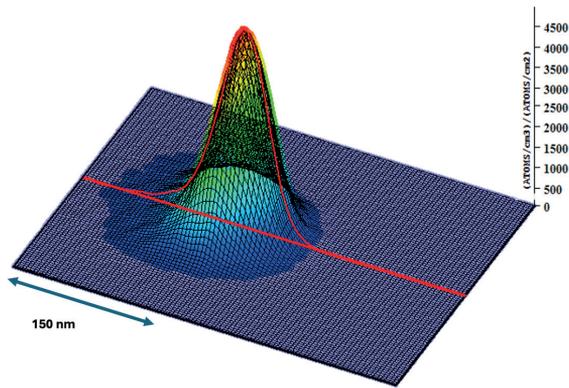


Рис. 1. Моделирование при помощи программы SRIM концентрации имплантированных ионов гелия. Пик концентрации приходится на глубину 150 нм

Доза имплантации варьировалась в диапазоне от $1 \cdot 10^{15}$ до $5 \cdot 10^{17}$ см⁻² (см. рис. 2).

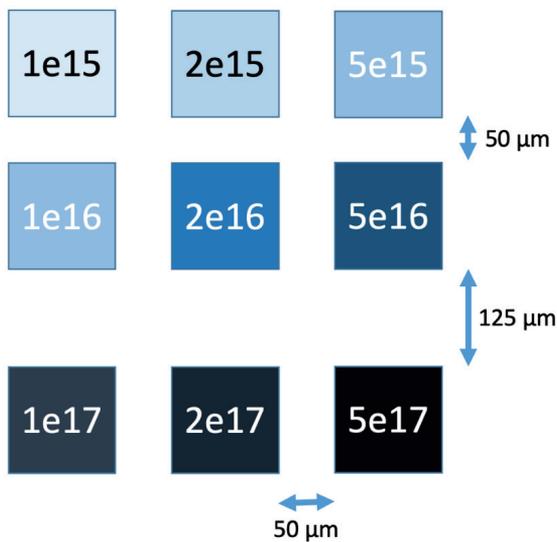


Рис. 2. Схема расположения имплантированных областей с указанием дозы имплантации

Формирование микрополостей с газом и отжиг радиационных дефектов проводились при помощи процедуры быстрого термического отжига в атмосфере аргона продолжительностью 15 минут при температуре 950 °С. Отжиг проводился в трубной печи RTP-70 с кварцевым реактором производства компании ООО «Научные технологии и сервис» (scietex.ru).

После отжига и съемки в СЭМ был выбран образец с максимальной дозой имплантации и отсутствием отслоения верхней части пластины (см. рис. 3). Образцы с отслоившимся верхним слоем кристалла неприменимы для задач, поставленных в данной работе, и будут обсуждены в отдельной статье.

Отобранный образец с дозой имплантации $1 \cdot 10^{16}$ см⁻² был в последствии подвергнут процедуре медленного in-situ нагрева в камере СЭМ.

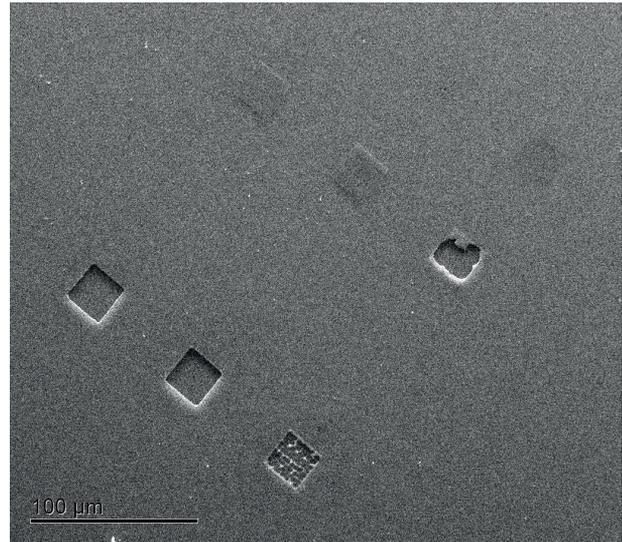


Рис. 3. СЭМ-изображение поверхности кристалла кремния после имплантации гелия и быстрого термического отжига

Экспериментальная установка

Нагрев образца с одновременным наблюдением проводился в вакуумной камере СЭМ Supra 40, производства компании Carl Zeiss, оснащенной нагревательным столиком производства компании Gatan. Нагревательный стол позволяет устанавливать температуру образца в диапазоне от комнатной температуры до 600 °С либо со стабилизацией температуры, либо с контролируемой скоростью нагрева. В данном эксперименте проводился нагрев с постоянной скоростью 20 °С в минуту.

Результаты

В процессе нагрева образца производилась непрерывная интервальная съемка СЭМ-изображения поверхности образца с частотой кадров 1 кадр в секунду с использованием детектора вторичных электронов. Вплоть до температуры 280 °С не наблюдалось заметного изменения морфологии поверхности образца (рис 4.). Однако приобретение областью имплантации более темного контраста явно свидетельствует об изменении структуры кристалла, росте микрополостей с газом.

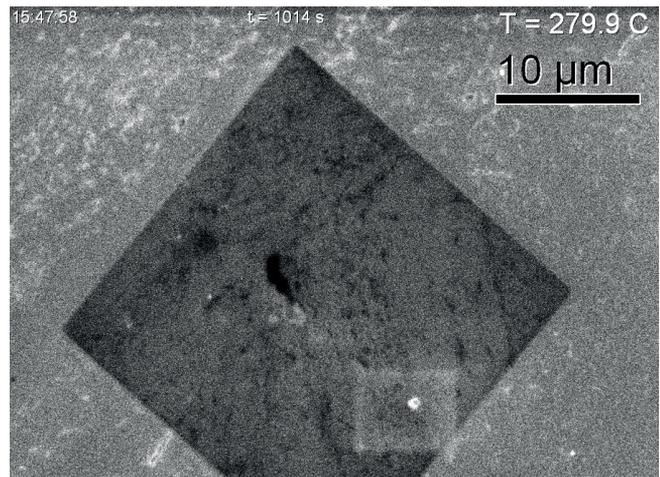


Рис. 4. СЭМ-изображение поверхности образца на 1014-й секунде эксперимента. Температура образца 280 °С, детектор вторичных электронов

При температуре 290 °С поверхность образца стала динамически меняться. Микрополости с газом стали достигать поверхности и вскрываться. Кроме того, со стороны одного из краев области имплантации за время менее одной секунды образовалась дислокационная петля (рис. 5), состоящая из винтовой и 60-градусной дислокации, выходящей на поверхность кристалла на расстоянии 12 мкм.

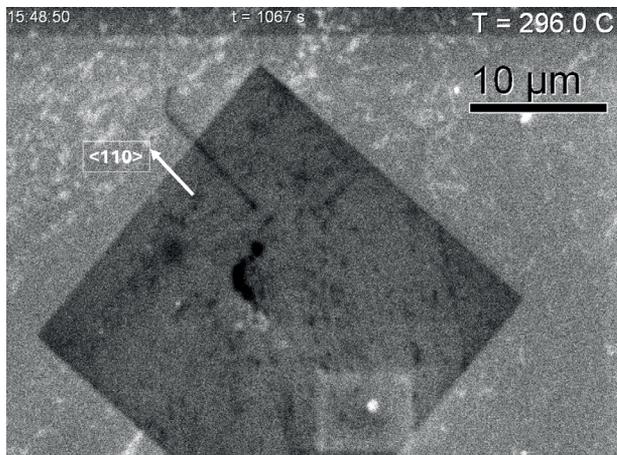


Рис. 5. СЭМ-изображение поверхности образца на 1014-й секунде эксперимента. Температура образца 296 °С, детектор вторичных электронов. Стрелкой показано направление <110>

Последующий отжиг привел к продолжению роста и вскрытия микрополостей с газом, а также к движению дислокации к поверхности с последующим ее исчезновением (рис. 6).



Рис. 6. СЭМ-изображение поверхности образца на 1422-й секунде эксперимента. Температура образца 400 °С, детектор вторичных электронов

Дальнейший отжиг не привел к изменению морфологии поверхности образца, что, вероятно, связано с прекращением роста микрополостей, вследствие их вскрытия и сброса давления газа.

Заключение

В ходе исследования было проведено прямое наблюдение и анализ динамики формирования протяженных дефектов в кремнии при in-situ отжиге с использованием сканирующего электронного микроскопа. Наблюдение процесса дефектообразования в реальном времени позво-

лило выявить температуры активного дефектообразования, наблюдать процесс возникновения дислокационной петли и выхода ее на поверхность, этапы роста и эволюции микрополостей с гелием, а также определить временные характеристики указанных процессов.

Полученные данные показали, что генерация дефектов в кремнии существенно зависит от температурных режимов. Установлена пороговая температура начала формирования протяженных дефектов равная 290 °С. Использование СЭМ in-situ обеспечило уникальную возможность наблюдать за развитием дислокаций и других протяженных дефектов на микроуровне с прямым измерением размеров дефектов, что позволило глубже понять процессы их формирования.

Результаты данного исследования могут быть использованы для оптимизации процессов, связанных с термической обработкой и ионной имплантацией в полупроводниковом производстве, что способствует повышению качества и надежности кремниевых материалов. В дальнейшем изучение влияния различных параметров, таких как концентрация примесей или скорость нагрева, может позволить ещё более точно контролировать процессы формирования дефектов в кремнии и улучшить его функциональные характеристики.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Петрову Ю.В. за проведение имплантации гелия в образцы, а также коллективу Междисциплинарного ресурсного центра по направлению «Нанотехнологии» СПбГУ за возможность проведения съемки на СЭМ.

Литература

1. M. Kittler and M. Reiche, Structure and Properties of Dislocations in Silicon, in Crystalline Silicon - Properties and Uses, edited by S. Basu (InTech, 2011).
2. V. Kveder and M. Kittler, Dislocations in Silicon and D-Band Luminescence for Infrared Light Emitters, Mater. Sci. Forum 590, 29 (2008).
3. I. Yonenaga, An Overview of Plasticity of Si Crystals Governed by Dislocation Motion, Eng. Fract. Mech. 147, 468 (2015).
4. C. Maleville and C. Mazuré, Smart-Cut® Technology: From 300 Mm Ultrathin SOI Production to Advanced Engineered Substrates, Solid-State Electron. 48, 1055 (2004).
5. J. Wang, Q. Xiao, H. Tu, B. Shao, and A. Liu, Microstructure Evolution of Hydrogen-Implanted Silicon during the Annealing Process, Microelectron. Eng. 66, 314 (2003).
6. Y.V. Petrov, E.A. Grigoryev, and A.P. Baraban, Helium Focused Ion Beam Irradiation with Subsequent Chemical Etching for the Fabrication of Nanostructures, Nanotechnology 31, 215301 (2020).
7. J.F. Ziegler, M.D. Ziegler, and J.P. Biersack, SRIM – The Stopping and Range of Ions in Matter (2010), Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. Mater. At. 268, 1818 (2010).

СЕРИЯ МИКРОСХЕМ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ РАЗВЯЗКИ

A SERIES OF GALVANIC ISOLATION INTEGRATED CIRCUITS

Денисов А.Н., к. т. н., начальник НИЛ перспективной ЭКБ, **Федоров Р.А.**, к. т. н., начальник НИЛ разработки А-Ц БИС ОИМ, НПК «Технологический центр», +7 (499) 720-87-93; +7 (499) 736-95-23; +7 (499) 720-89-92, kovcheg@tcen.ru

Denisov A.N., PhD, head of the perspective electronic components laboratory, **Fedorov R.A.**, PhD, Head of the analog/digital IC laboratory of the integrated circuit department, Scientific-Manufacturing Complex “Technological Centre”, +7 (499) 720-87-93; +7 (499) 736-95-23; +7 (499) 720-89-92, kovcheg@tcen.ru

Аннотация. В статье актуализирована тема и приведены доводы о необходимости включения гальванической развязки в цепи с неблагоприятной электромагнитной обстановкой для повышения помехозащищенности, выравнивания соотношения сигнал/шум в сигнальной цепи, точности измерения и обеспечении безопасности при эксплуатации электроприборов и установок.

Annotation. The article updates the topic and provides arguments about the need to include galvanic isolation in a circuit with an unfavorable electromagnetic environment to increase noise immunity, equalize the signal-to-noise ratio in the signal circuit, measurement accuracy and safety during operation of electrical appliances and installations.

Ключевые слова: микросхема, тиристорный эффект.

Keywords: integrated circuit, thyristor effect.

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

Введение

При проектировании устройств специального назначения с использованием нескольких питающих напряжений в одной электрической цепи разработчикам необходимо обеспечить помехоустойчивость схемы. Аналогичные проблемы возникают при создании медицинского оборудования для защиты людей от удара электрическим током. С разрешением этих задач помогает справиться применение гальванической развязки.

Основная часть

Гальваническая развязка (далее – ГР) – это принцип связи или передачи электричества (постоянного или переменного тока) или информационного сигнала от одной электрической цепи к другой, который применяется либо для питания, либо для передачи управляющего сигнала без непосредственного (прямого) электрического контакта между ними. Цепи не связываются проводами, а энергия передается, например, через магнитное поле, оптическое излучение или радиосигнал. ГР встречается в источниках питания, системах управления и линиях связи. По сути, она искусственно создает изоляцию, исключаящую токовую связь и минимизирующую влияние или полностью не пропускающую возможные помехи и искаженные сигналы.

Сегодня успешно применяется ряд технических решений для обеспечения ГР. Их отличие фактически состоит в том, в какой степени они позволяют добиться электромагнитной независимости изолируемых цепей. Ведь емкость ГР существенно влияет на сквозные токи высокой частоты через ГР и фактически определяет независимость изолируемых цепей для синфазного напряжения с высокой скоростью нарастания.

Наиболее популярные технические способы обеспечения ГР – это оптический (с оптическим датчиком и при-



Денисов А.Н.



Федоров Р.А.

ёмником), емкостной (с конденсаторами малой емкости), трансформаторный (с двумя одинаковыми обмотками), электромеханический (с электромеханическими реле или генераторами).

Оптическая ГР реализуется с помощью оптопар и оптореле. Оптопары передают сигнал в сигнальных цепях или цепях с малым током. А оптореле чаще применяются для коммутации силовых цепей с большим током.

Чаще оптическая ГР используется в цепях управления для передачи информационных сигналов, в блоках питания между высоковольтной и низковольтной частью. Оптическая ГР состоит из светового излучателя (например, светодиода) и фотоприемника (фототранзистора, фототиристора и др.), разделенных прозрачным изолятором [1]. Через оптическое излучение сигнал передается от одной цепи к другой. Энергия на входе преобразуется в световой импульс, проходит через изоляционный материал и попадает в фотодетектор. Там сигнал обратно преобразуется в исходный сигнал.

Оптическая ГР имеет большое напряжение изоляции (до 7000 В) и высокую устойчивость к воздействию синфазных помех между входом и выходом (около 15 кВ/мкс). Оптоны не подвержены воздействию электромагнитных

полей. Но при этом отличаются низкой скоростью передачи сигнала и высокой рассеиваемой мощностью. Помимо прочего структура оптрона деградирует во времени.

Емкостная ГР реализуется с помощью трансформаторов, цифровых изоляторов на высокочастотном трансформаторном принципе. Такой тип ГР работает как электрический конденсатор. В емкостных изоляторах между двумя проводниками располагается диэлектрик, который блокирует постоянный ток. Высокочастотное переменное электрическое поле передает сигнал через диэлектрические барьер.

Такая конструкция конденсаторов отличается технологической сложностью изготовления. Но при этом дает высокую скорость передачи, устойчивость к воздействию синфазных помех между входом и выходом, низкую рассеиваемую мощность, стойкость к возбуждению магнитных полей.

Трансформаторная или индуктивная гальваническая развязка реализуется с помощью трансформаторов или цифровых изоляторов на высокочастотном трансформаторном принципе [2]. На металлическом сердечнике расположены защищенные между собой слоем заземленной фольги первичная и вторичная обмотка с одинаковыми толщиной и количеством витков. Ток поступает на первичную обмотку и через магнитный поток передается на вторичную без потери напряжения с коэффициентом преобразования равным единице. Индуктивная ГР чаще используется в силовых цепях переменного тока.

На основе принципа трансформаторной ГР специалистами НПК «Технологический центр» была разработана серия радиационно-стойких микросхем гальванической развязки 5575 для передачи управляющих сигналов. На рис. 1 представлен внешний вид микросхем серии 5575.



а) б)
Рис. 1 – Внешний вид микросхем серии 5575:
а) 5575BB034 в корпусе МК 4159.48-1,
б) 5575BB014 в корпусе МК 4145.24-1

Основные характеристики серии 5575:

- напряжение питания 2,70 ÷ 3,63 В;
- динамический ток потребления не более 20 мА на канал при напряжении питания 3,3 В и скорости передачи данных 150 Мбит/с;
- скорость передачи до 150 Мбит/с;
- температурный диапазон от минус 60 °С до 85 °С;
- тип входных сигналов КМОП/TTL, LVDS/LVDM;
- тип выходных сигналов КМОП, LVDS/LVDM;
- холодный резерв по всем входам и выходам LVDS/LVDM интерфейсов;

- повышенная радиационная стойкость к факторам космического пространства;

- микросхемы изготовлены по радиационно-стойкой КМОП-технологии на структурах «кремний на изоляторе» с топологическими нормами 0.25 мкм;

- напряжение изоляции не менее 2000 В;

- задержка распространения сигнала не более 20 нс [3].

Серия 5575 включает в свой состав пять типов микросхем (см. таблицу 1), которые обеспечивают передачу информации по двум или четырем независимым каналам. В каждом канале передатчик и приемник изолированы друг от друга с помощью интегрального трансформатора [3].

Таблица 1

Состав серии микросхем гальванической развязки 5575

Тип	Количество каналов, шт.	Количество выводов	Корпус
5575BB014	2	24	МК 4145.24-1
5575BB024	1+1	24	
5575BB034	4	48	МК 4159.48-1
5575BB044	2+2	48	
5575BB054	3+1	48	

Обозначения и назначение внешних выводов микросхем серии 5575 приведены в таблице 2.

Таблица 2

Обозначения и назначение внешних выводов микросхем серии 5575

Обозначение	Назначение
VCC1	Питание 1
GND1	Общий 1
VCC2	Питание 2
GND2	Общий 2
IDi	Входы КМОП приемников
IDPi	Вход прямой LVDS приемника
IDNi	Вход инверсный LVDS приемника
MXli	Вход выбора типа входного сигнала приемника
Eli	Вход разрешения работы приемника высоким уровнем
ODi	Выход КМОП передатчика
ODPi	Выход прямой LVDS передатчика
ODNi	Выход инверсный LVDS передатчика
MXOj	Вход выбора режима мультиплексора выходного сигнала
EOi	Вход разрешения работы LVDS передатчика высоким уровнем
XOj	Вход выбора мощности выходных сигналов передатчиков

В приемнике имеется возможность выбора работы с одним из двух типов входных информационных сигналов в соответствии с LVDS интерфейсом или уровнями КМОП/TTL (см. таблицу 3).

Таблица 3

Режимы работы приемника

Вход E1i	Вход MX1i	Режим работы приемника
0	0	Отсутствие приема
	1	
1	0	Прием сигнала по входу КМОП/ТТЛ
	1	Прием сигнала по входу LVDS

В режиме LVDS/LVDM входные сигналы подаются на выходы IDP_i и IDN_i. В режиме КМОП/ТТЛ сигнала – на вывод ID_i. Выбор типа входного сигнала осуществляется управляющим сигналом MX1_i. При низком уровне на MX1_i осуществляется прием сигнала на входе ID_i, при этом LVDS приемник отключается, а входы IDP_i и IDN_i доопределяются до низкого уровня. При высоком уровне на MX1_i осуществляется прием сигналов на IDP_i и IDN_i LVDS приемника, а вход ID_i доопределяется до низкого уровня.

В приемнике имеется схема обновления уровня сигнала обеспечивающая контроль состояния уровня входного сигнала не реже, чем раз в 1,5 мкс. Если информация о состоянии входного сигнала не обновлялась в течении 6 мкс (например, при потере питания приёмника), то на выходах OD_i, ODP_i и ODN_i устанавливается низкий уровень, как признак нештатной ситуации. Схема обновления уровня не вносит ограничений на длительность или частоту входных цифровых или LVDS сигналов, в т. ч. на сигналы с неменяющимся уровнем. Схема обновления уровня сигнала функционирует от внутренних тактовых генераторов и не отключается при блокировании передатчика или приемника.

Выходной сигнал передатчика подается одновременно на LVDS/LVDM интерфейс – выходы ODP_i и ODN_i и КМОП цифровой выход OD_i. При низком уровне на входе XO_j устанавливается выходной ток на OD_i не более 4 мА и LVDS интерфейс на ODP_i и ODN_i. При высоком уровне на входе XO_j устанавливается выходной ток на OD_i не более 12 мА и LVDM интерфейс на ODP_i и ODN_i (см. таблицу 4).

Таблица 4

Управление мощностью выходных сигналов

Вход XO _j	Вход ODP _i /ODN _i	Выход OD _i
0	LVDS (IOL=IOH = 3,5 мА)	КМОП (IOL=IOH = 4 мА)
1	LVDM (IOL=IOH = 7,0 мА)	КМОП (IOL=IOH =12 мА)

В микросхемах 5575BB014, 5575BB034 – 5575BB054 имеется функция мультиплексирования выходных данных между каналами при помощи управляющего входа MXO_j. При низком уровне на MXO_j осуществляется прямая передача информации между каналами, при высоком уровне на MXO_j происходит переключение на соседний канал (см. таблицу 5).

Таблица 5

Управление направлением передачи

Управление			Выходы			
E01	E02	MXO _j	ODP1, ODN1	OD1	ODP2, ODN2	OD2
0	0	0	Z	ID1	Z	ID2
0	0	1	Z	ID2	Z	ID1
0	1	0	Z	ID1	IDP2, IDN2	ID2
0	1	1	Z	ID2	IDP1, IDN1	ID1
1	0	0	IDP1, IDN1	ID1	Z	ID2
1	0	1	IDP2, IDN2	ID2	Z	ID1
1	1	0	IDP1, IDN1	ID1	IDP2, IDN2	ID2
1	1	1	IDP2, IDN2	ID2	IDP1, IDN1	ID1

Примечание к таблице: Z – отключенное состояние, при этом LVDS/LVDM выходы переводятся в высокоимпедансное состояние

Перевод приемника в состояние «Выключено» осуществляется низким уровнем на управляющем входе E1_i, при этом LVDS приемник отключается. На входах ID_i включен резистор доопределения 100 кОм до низкого уровня, на входах IDP_i/IDN_i включен резистор доопределения 255 кОм до низкого уровня.

Перевод передатчика в состояние «Выключено» осуществляется низким уровнем на управляющем входе E0_i, при этом LVDS/LVDM выходы переводятся в высокоимпедансное состояние, КМОП – продолжает осуществлять передачу данных по каналу.

Заключение

Статья посвящена серии 5575 микросхем гальванической развязки, разработанной специалистами НПК «Технологический центр» и имеет практическую значимость. В ней описаны характеристики, состав и режимы работы микросхем.

Микросхемы серии 5575 разрешены для применения в специальной аппаратуре. Протоколы испытаний к воздействиям специальных факторов высылаются по запросу на почту: kovcheg@tcen.ru.

Литература

1. Вороницкий Ю.И., Румас Р.А., Оптическая гальваническая развязка при однонаправленной передаче данных // ЭБ БГУ::ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТОЧНЫЕ НАУКИ::Физика - 2023.
2. Лукьянов А.А., Федоров Р.А., Микросхема гальванической развязки // Наноиндустрия – 2016. - № 7.
3. Микросхемы интегральные серии 5575BB. Технические условия АЕНВ.431230.570ТУ

УДК 621.371.334:004.312.22

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА НА ОСНОВЕ
МНОГОМОДОВОГО ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО ДЕЛИТЕЛЯ 2X2SIMULATION OPTICAL LOGIC GATE BASED
ON A 2X2 MULTIMODE INTERFERENCE COUPLER

Амеличев В.В., к. т. н., начальник отдела МСТ, **Кадочкин А.С.**, к. ф. -м. н., старший научный сотрудник отдела МСТ, **Генералов С.С.**, начальник НИЛ НМЭМС отдела МСТ, **Горелов Д.В.**, начальник НИЛ ИМОС отдела МСТ, НПК «Технологический центр», +7 (499) 720-87-79, V.Amelichev@tcen.ru

Amelichev V.V., Ph. D., Head Department of MST, **Kadochkin A.S.**, Ph. D., Senior Researcher Department of MST, **Generalov S.S.**, head of the laboratory of NMEMS Department of MST, **Gorelov D.V.**, head of the laboratory of IOMS Department of MST Scientific-Manufacturing Complex "Technological Centre", +7 (499) 720-87-79, V.Amelichev@tcen.ru

Аннотация: В статье приводятся результаты теоретических исследований оптического логического элемента (ОЛЭ) на основе многомодового интерференционного (ММИ) делителя 2×2, полученные методом конечных разностей во временной области (FDTD). Оптимизированная конструкция ОЛЭ позволяет реализовывать базовые логические функции «НЕ» (NOT), «ИЛИ» (OR), «И-НЕ» (NAND), «исключающее-ИЛИ» (XOR) и «исключающее ИЛИ-НЕ» (XNOR) в диапазоне длин волн 1,530-1,565 мкм (С-диапазон) с коэффициентом затухания между логическими «0» и «1» более 30 дБ. Предложенный ОЛЭ, работающий по технологии полностью оптической обработки сигналов, в дальнейшем может быть использован в оптических логических схемах с целью повышения скорости обработки данных и снижения энергопотребления.

Annotation: The article presents the results of theoretical studies of an optical logic element (OLE) based on a 2×2 multimode interference (MMI) coupler, obtained by the method of finite differences in the time domain (FDTD). Optimized design of OLE allows to implement basic logic functions NOT, OR, NAND, XOR and XNOR in wavelength range 1,530-1,565 μm (C-band) with coefficient attenuation between logical «0» and «1» is more than 30 dB. The proposed OLE, operating according to the technology of fully optical signal processing, can be further used in optical logic circuits in order to increase the speed of data processing and reduce power consumption.

Ключевые слова: оптический логический элемент, интегральный волновод, интегральная оптическая схема, многомодовый интерференционный делитель, разность фаз, метод конечных разностей во временной области, высокоскоростные вычисления, поляризация, временная задержка, коэффициент затухания.

Keywords: optical logic gate, integrated waveguide, integrated optical circuit, multimode interference coupler, phase difference, finite-difference time-domain (FDTD), high-speed computing, polarization, time delay, extinction ratio.

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

Введение

В последние годы большой интерес проявляется к исследованиям, направленных на создание оптических логических схем для высокоскоростных вычислений и обработки данных [1, 2]. Немаловажной задачей является создание полностью оптических компонентов, работающих в широком диапазоне длин волн, в которых отсутствует преобразование оптического сигнала в электрический и обратно, что является сдерживающим фактором для повышения скорости вычислений [1, 2].

Основной принцип работы ОЛЭ в сравнении с логическим вентиляем на транзисторе, в котором двоичное состояние одного электронного сигнала управляется другим электронным сигналом, заключается в использовании одного оптического сигнала для управления двоичным состоянием другого оптического сигнала. Время отклика ОЛЭ в зависимости от конструкции может быть в пределах нескольких пико- или фемтосекунд, поэтому оптические сигналы могут обрабатываться на более высоких частотах по сравнению с транзисторной логикой.



Кадочкин А.С.



Генералов С.С.



Горелов Д.В.

В настоящее время были предложены различные схемы реализации ОЛЭ в интегральном исполнении: на основе микрокольцевого резонатора [3], на основе интерферометра Маха-Цендера [4, 5], на основе ММИ делителя [6], на основе пространственного кодирования оптических полей [7, 8], на основе нановолноводов и фотонных кристаллов [9-13]. Несмотря на ряд преимуществ отдельных конфигураций ОЛЭ, заключающихся в низких потерях, высокой скорости отклика и малых размерах, в настоящее время широкое распространение ОЛЭ не получили, из-за сложности изготовления и специфических особенностей конструкций.

Предлагаемый ОЛЭ на основе ММИ делителя 2×2 реализуется на структуре Si₃N₄/SiO₂, имеет простую конструкцию, высокое быстродействие и доступную интегральную технологию изготовления. В работе представлены результаты моделирования ОЛЭ, выполняющего логические функции «НЕ», «ИЛИ», «И-НЕ», «исключающее-ИЛИ» и «исключающее ИЛИ-НЕ» в диапазоне длин волн 1,53-1,54 мкм.

1. Принцип работы и конструкция ОЛЭ

ММИ делители широко применяются в интегральных оптических схемах для деления и суммирования оптической мощности [13-15]. При распространении оптического излучения через ММИ делитель происходит последовательное преобразование фундаментальной моды в моды высшего порядка. Количество поддерживаемых мод N определяется длиной области ММИ L_c , которая может быть выражена [16]:

$$L_c = \frac{12n_{eff}W_{eff}^2}{3\lambda_0 N}, \quad (1)$$

где n_{eff} – эффективный показатель преломления сердцевин;

W_{eff} – эффективная ширина области ММИ;

λ_0 – длина волны;

N – количество мод высшего порядка.

Эффективная ширина W_{eff} выражается [17]:

$$W_{eff} = W_c + \frac{\lambda_0}{\pi} \sqrt{n_{eff}^2 - n_c^2}, \quad (2)$$

где W_c – ширина области ММИ;

λ_0 – длина волны;

n_{eff} – эффективный показатель преломления;

n_c – эффективный показатель преломления оболочки.

Значение фаз сигналов на выходе из области ММИ с конфигурацией $N \times N$ могут быть представлены [17]:

$$\begin{cases} \varphi_i = \varphi_0 - \pi + \frac{\pi}{4N}(i-j)(2N-j+i) - \text{для четных } i+j \\ \varphi_i = \varphi_0 - \frac{\pi}{4N}(j+i-1)(2N-j+1) - \text{для нечетных } i+j \end{cases}, \quad (3)$$

где φ_0 – начальная фаза;

N – количество входов и выходов области ММИ;

$i=1, 2, 3 \dots N$ для входов;

$j=1, 2, 3 \dots N$ для выходов.

Принципиальная схема реализации ОЛЭ на ММИ дели-

теле 2×2 показана на рис. 1. ОЛЭ имеет два входных порта А и В, два выходных порта С и D и непосредственно область взаимодействия размером $L_c \times W_c$. Входные и выходные порты имеют тейпированные линейные волноводы для минимизации вносимых потерь. Параметры ОЛЭ подобраны для работы на ТЕ поляризации (TE₀₀ мода) при длине волны 1,55 мкм и достижения одинакового разделения входного сигнала (по принципу делителя 3 дБ) (см. рис. 2) [18]. Основные геометрические характеристики ОЛЭ представлены в таблице 1.

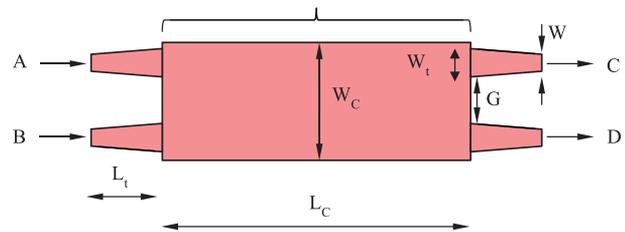


Рис. 1. Схема конфигурации ОЛЭ на ММИ делителе 2×2

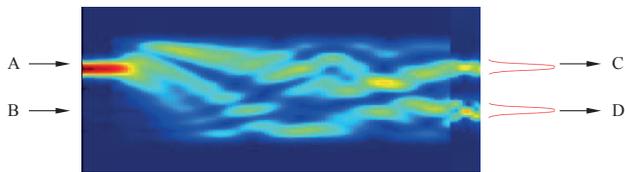


Рис. 2. Распределение интенсивности оптического поля для TE₀₀ моды на длине волны 1,55 мкм в ММИ делителе 2×2 (делитель 3 дБ)

Таблица 1
Геометрические характеристики ОЛЭ на ММИ делителе 2×2

Параметр	Значение
Длина взаимодействия L_c , мкм	117
Ширина взаимодействия W_c , мкм	12
Зазор G , мкм	5
Длина тейпера L_t , мкм	15
Ширина тейпера W_t , мкм	4

В качестве материала волноведущие структуры используется Si₃N₄ толщиной $H_{core}=0,4$ мкм с коэффициентом преломления 1,99. Нижняя и верхняя оболочки представляет собой оксид кремния (SiO₂) с коэффициентом преломления 1,46 и толщинами $H_{bot_clad}=3,2$ мкм и $H_{top_clad}=1$ мкм, соответственно. Ширина подводящих волноводов составляет $W_{core}=2$ мкм. Поперечное сечение волновода и распределение TE₀₀ моды приведены на рис. 3.

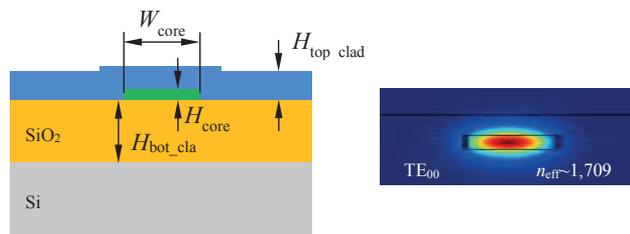


Рис. 3. Интегральный волновод: а – поперечное сечение; б – распределение интенсивности поля для TE₀₀ моды на длине волны 1,55 мкм

Несмотря на то, что основной модой для приведенного волновода является TE_{00} мода, часть мощности от мод высшего порядка может передаваться на выходные порты ОЛЭ, которые должны иметь минимальные значения мощности. Данное явление ограничивает коэффициент затухания, выражающий отношение между выходными оптическими мощностями для логических состояний «1» и «0»

[19]. Одним из решений данной проблемы может являться применение поляризационного фильтра на основе волновода с изгибом. На рис. 4 приведена расчетная зависимость потерь для TE_{00} , TE_{10} , TM_{00} и TM_{10} мод от радиуса изгиба. Принцип действия фильтра заключается в различных потерях на изгибах для TE и TM мод [20].

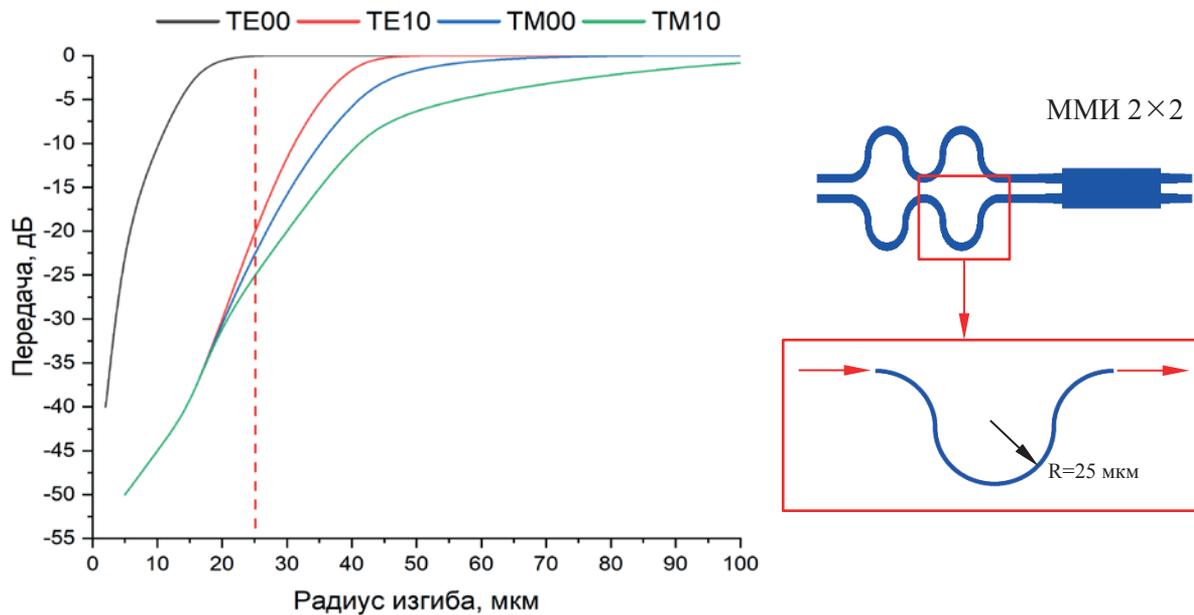


Рис. 4. Оценка оптических потерь для TE_{00} , TE_{10} , TM_{00} и TM_{10} мод от радиуса изгиба

Как показано на рис. 4 по мере уменьшения радиуса изгиба потери на передаче начинают значительно увеличиваться для всех поддерживаемых мод. При радиусе изгиба 25 мкм TE_{10} , TM_{00} , TM_{10} моды имеют большие потери (> 20 дБ/изгиб), при этом потери для TE_{00} моды остаются незначительными. Применение двойного изгиба позволяет практически полностью рассеять моды высших порядков для обеспечения одномодового режима на входе ОЛЭ.

2. Результаты моделирования ОЛЭ методом FDTD

ОЛЭ позволяет одновременно выполнять две логические функции путем изменения фаз входных сигналов, разность которых составляет $\pi/2$, π или $3\pi/2$ с целью определения логического состояния «0» и «1» на выходных портах. Помимо этого ОЛЭ также может работать как инвертор (функция «НЕ»). Особенность конструкции ОЛЭ заключается в отсутствии свободных выходных портов при выполнении функций «ИЛИ» и «И-НЕ» или функций «исключающее ИЛИ» и «исключающее ИЛИ-НЕ», что позволяет более эффективно использовать оптическую мощность.

Оптимизация конструкции ОЛЭ проведена путем моделирования с использованием метода FDTD [21]. Нормированные мощности для всех входных сигналов составляли 1 мВт. Рассчитаны оптические поля в предлагаемой конструкции, в том числе, коэффициенты пропускания оптических выходов. На основе коэффициентов пропускания

составлены таблицы истинностей исследуемого ОЛЭ, приведенные в таблицах 2-4. Распределения интенсивностей полей для TE_{00} моды, соответствующие логическим состояниям, показаны на рис. 5-7.

Логические функции «ИЛИ» и «И-НЕ»

Таблица истинности ОЛЭ с функциями «ИЛИ» и «И-НЕ» показана в таблице 2. Распределение полей для TE_{00} моды в ОЛЭ приведены на рис. 5.

Логическому «0» для входного порта А соответствует сигнал с фазой $\varphi_A = 0$, а для порта В – сигнал с фазой $\varphi_B = \pi/2$. Логической «1» для входного порта А соответствует сигнал с фазой $\varphi_A = -\pi/2$, а для порта В – сигнал с фазой $\varphi_B = \pi$.

Таблица 2

Таблица истинности ОЛЭ, реализующий функции «ИЛИ» и «И-НЕ»

Порт А	Порт В	Порт С=A+B («ИЛИ»)	Порт D = \overline{AB} («И-НЕ»)
0	0 ($\pi/2$)	0	1
0	1 (π)	1	1
1 ($-\pi/2$)	0 ($\pi/2$)	1	1
1 ($-\pi/2$)	1 (π)	1	0

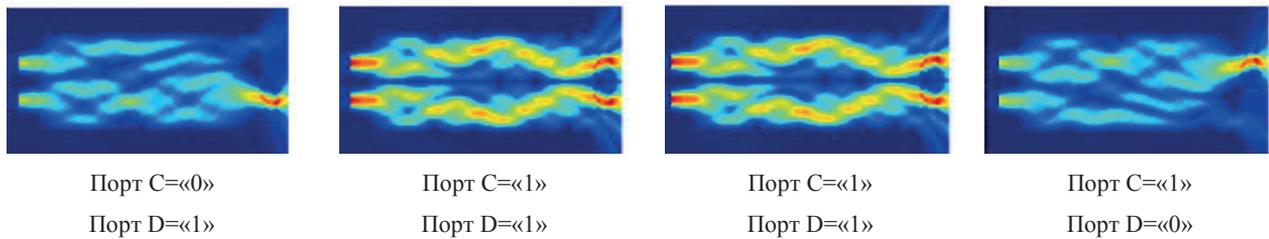


Рис. 5. Распределение интенсивности поля в ОЛЭ, реализующий функции «ИЛИ» и «И-НЕ»

Логические функции «исключающее ИЛИ» и «исключающее ИЛИ-НЕ»

Таблица истинности ОЛЭ с функциями «исключающее ИЛИ» и «исключающее ИЛИ-НЕ» показана в таблице 3. Распределение полей для TE_{00} моды в ОЛЭ приведены на рис. 6.

Логическому «0» для входного порта А соответствует сигнал с фазой $\varphi_A = 0$, а для порта В – сигнал с фазой $\varphi_B = \pi/2$. Логической «1» для входного порта А соответствует сигнал с фазой $\varphi_A = \pi$, а для порта В – сигнал с фазой $\varphi_B = 3\pi/2$.

Таблица 3

Таблица истинности ОЛЭ, реализующий функции «исключающее ИЛИ» и «исключающее ИЛИ-НЕ»

Порт А	Порт В	Порт $C = A\bar{B} + B\bar{A}$ («исключающее ИЛИ»)	Порт $D = (A + B)(B + \bar{A})$ («исключающее ИЛИ-НЕ»)
0	0 ($\pi/2$)	0	1
0	1 ($3\pi/2$)	1	0
1 (π)	0 ($\pi/2$)	1	0
1 (π)	1 ($3\pi/2$)	0	1

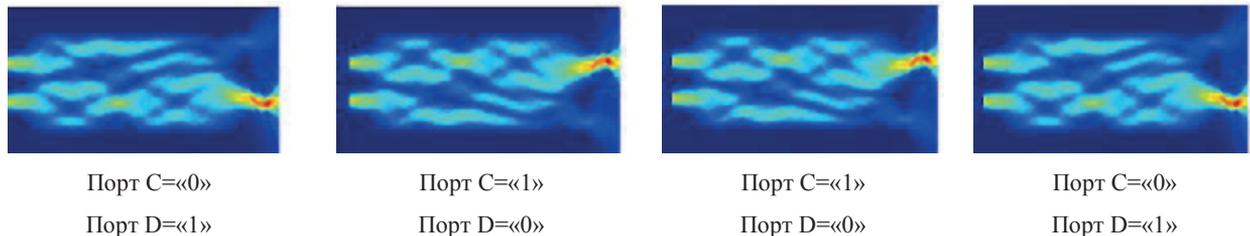


Рис. 6. Распределение интенсивности поля в ОЛЭ, реализующий функции «исключающее ИЛИ» и «исключающее ИЛИ-НЕ»

Логическая функция «НЕ»

Таблица истинности ОЛЭ для функции «НЕ» показана в таблице 4. Распределение полей для TE_{00} моды в ОЛЭ приведены на рис. 7.

Логическому «0» для входного порта А соответствует сигнал с фазой $\varphi_A = 0$, а для порта В сигнал с фазой $\varphi_B = \pi/2$. Логической «1» для входного порта В соответствует сигнал с фазой $\varphi_B = 3\pi/2$.

Таблица 4

Таблица истинности ОЛЭ, реализующий функцию «НЕ»

Порт А	Порт В	Порт $C=B$	Порт $D = \bar{B}$
0	0 ($\pi/2$)	0	1
0	1 ($3\pi/2$)	1	0

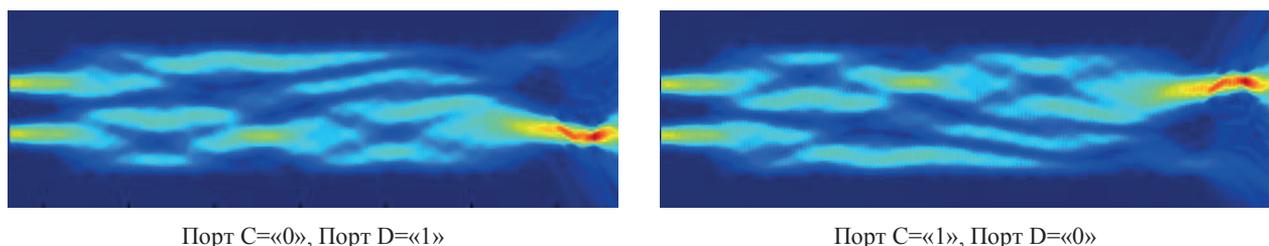


Рис. 7. Распределение интенсивности поля в ОЛЭ, реализующий функцию «НЕ»

Из табл. 4 и рис. 7 следует, что логической «1» соответствует высокая интенсивность, а логическому «0» – низкая интенсивность на выходном порту. При $\varphi_A = 0$ и $\varphi_B = \pi$ или $3\pi/2$ помимо функции «НЕ» реализуется свободный порт.

Одним из основных параметров ОЛЭ является коэффициент затухания, который может быть выражен по формуле [19]:

$$ER = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_0} \right), \quad (4)$$

где $P_{«1»}$ – значение мощности выходного сигнала для логической «1»;

$P_{«0»}$ – значение мощности выходного сигнала для логического «0».

Значение коэффициента затухания в ОЛЭ для приведенных выше функций на длине волны 1,55 мкм составило 36,5 дБ. Зависимость коэффициента затухания для С-диапазона показана на рис. 8.

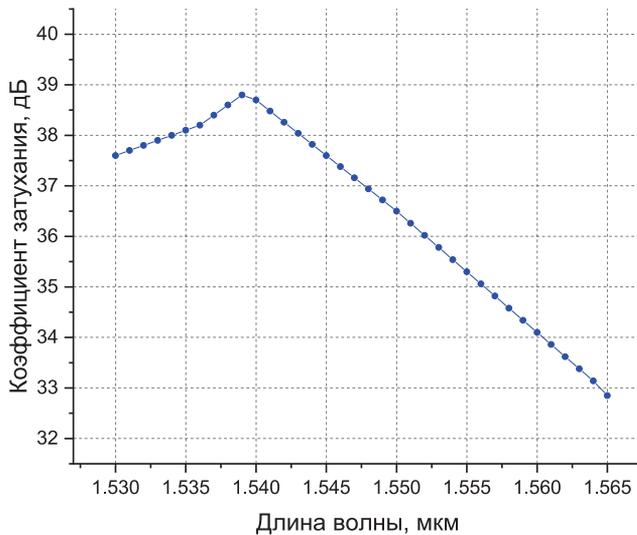


Рис. 8. Зависимость коэффициента затухания между логическими состояниями «1» и «0» для С-диапазона

Из зависимости на рис. 8 следует, что контрастность между логическими состояниями «0» и «1» более 30 дБ, которая сохраняется на всем С-диапазоне.

Для оценки производительности предлагаемого ОЛЭ исследована временная задержка распространения сигнала от входных до выходных портов, значение которой в среднем составило 0,93 пс (см. рис. 9).

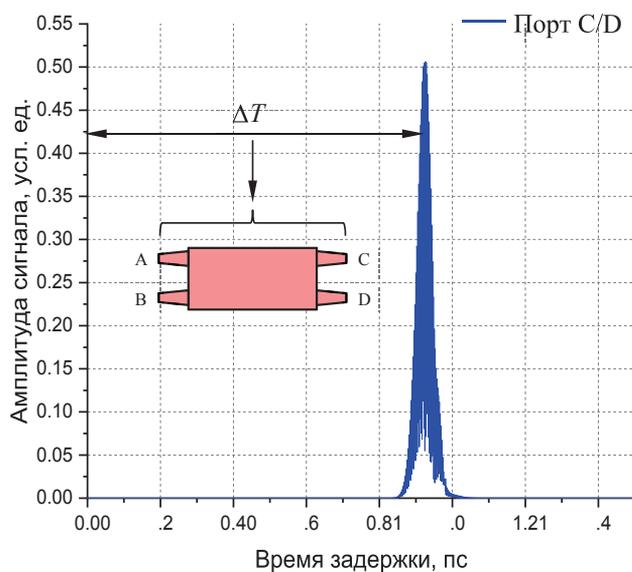


Рис. 9. Временная задержка распространения сигнала в ОЛЭ от входных (A, B) до выходных (C, D) портов

Заключение

Таким образом, проведенный расчет методом FDTD конструкции ОЛЭ на основе ММИ делителя 2×2, показал возможность реализации функций «ИЛИ», «И-НЕ», «исключающее ИЛИ», «исключающее ИЛИ-НЕ», при соответствующих входных сигналах. Конфигурация ОЛЭ также позволяет выполнять функцию «НЕ». Логические состо-

яния «0» и «1» на выходе достигаются за счёт изменения интенсивностей выходных сигналов, обусловленной разностью фаз на входных портах. Значение коэффициента затухания (контрастность между логическими «0» и «1») для ОЛЭ составило более 30 дБ в диапазоне длин волн 1,530-1,565 мкм (С-диапазон), что в перспективе позволяет использовать его при создании более сложных логических схем.

Поддержка

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, в рамках научной темы FNRМ-2022-0007.

Литература

1. Minzioni P. et al. Roadmap on all-optical processing // Journal of Optics. – 2019. – Т. 21. – №. 6. – С. 063001.
2. Jiao S. et al. All-optical logic gate computing for high-speed parallel information processing // Opto-Electronic Science. – 2022. – Т. 1. – №. 9. – С. 220010-1-220010-22.
3. Moroney N. et al. Logic gates based on interaction of counterpropagating light in microresonators // Journal of Lightwave Technology. – 2020. – Т. 38. – №. 6. – С. 1414-1419.
4. Kotb A., Zoiros K.E., Guo C. All-optical XOR, NOR, and NAND logic functions with parallel semiconductor optical amplifier-based Mach-Zehnder interferometer modules // Optics & laser technology. – 2018. – Т. 108. – С. 426-433.
5. Kotiyal S., Thapliyal H., Ranganathan N. Mach-Zehnder interferometer based all optical reversible NOR gates // 2012 IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI. – IEEE, 2012. – С. 207-212.
6. Le C.V. et al. Wideband optical logic gates based on a 3×3 multi-mode interference coupler // 2017 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC). – IEEE, 2017. – С. 245-249.
7. Qian C. et al. Performing optical logic operations by a diffractive neural network // Light: Science & Applications. – 2020. – Т. 9. – №. 1. – С. 59.
8. Zhao Z. et al. Compact logic operator utilizing a single-layer metasurface // Photonics Research. – 2022. – Т. 10. – №. 2. – С. 316-322.
9. Chen Y. et al. Nanoscale all-optical logic devices // Science China Physics, Mechanics & Astronomy. – 2019. – Т. 62. – С. 1-15.
10. Wu W. et al. Influence of two-photon absorption and free-carrier effects on all-optical logic gates in silicon waveguides // Applied Physics Express. – 2019. – Т. 12. – №. 4. – С. 042005.
11. Caballero L.E.P., Neto O.P.V. A review on photonic crystal logic gates // Journal of integrated circuits and systems. – 2021. – Т. 16. – №. 1. – С. 1-13.
12. Hussein H.M.E., Ali T.A., Rafat N.H. A review on the techniques for building all-optical photonic crystal logic gates // Optics & Laser Technology. – 2018. – Т. 106. – С. 385-397.

13. Yang H. et al. Nanowire network-based multifunctional all-optical logic gates // Science advances. – 2018. – Т. 4. – №. 7. – С. 7954.
14. Tao S. et al. Athermal 4-channel (de-) multiplexer in silicon nitride fabricated at low temperature // Photonics Research. – 2018. – Т. 6. – №. 7. – С. 686-691.
15. Mu J. et al. A low-loss and broadband MMI-based multi/demultiplexer in Si₃N₄/SiO₂ technology // Journal of lightwave technology. – 2016. – Т. 34. – №. 15. – С. 3603-3609.
16. Soldano L.B., Pennings E.C.M. Optical multi-mode interference devices based on self-imaging: principles and applications // Journal of lightwave technology. – 1995. – Т. 13. – №. 4. – С. 615-627.
17. Bachmann M., Besse P.A., Melchior H. General self-imaging properties in N×N multimode interference couplers including phase relations // Applied optics. – 1994. – Т. 33. – №. 18. – С. 3905-3911.
18. Москалев Д.Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОМОДОВОГО ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО ДЕЛИТЕЛЯ 2×2 // ПРИКЛАДНАЯ ФОТОНИКА APPLIED PHOTONICS. – 2023. – С. 17.
19. Kita S. et al. Ultrashort low-loss Ψ gates for linear optical logic on Si photonics platform // Communications Physics. – 2020. – Т. 3. – №. 1. – С. 33.
20. Bauters J.F. et al. Ultralow-Loss Planar Si₃N₄ Waveguide Polarizers // IEEE Photonics Journal. – 2012. – Т. 5. – №. 1. – С. 6600207-6600207.
21. Bogaerts W., Chrostowski L. Silicon photonics circuit design: methods, tools and challenges // Laser & Photonics Reviews. – 2018. – Т. 12. – №. 4. – С. 1700237.

УДК 621.3.019.3

О ЗНАЧИМОСТИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ОЦЕНОК ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА НАДЁЖНОСТЬ

ON THE SIGNIFICANCE OF STATISTICAL ESTIMATES IN RELIABILITY TESTS

Синельников Ю. Г., ведущий научный сотрудник, ФГБУ «ВНИИР», +7 (495) 586–17–21, sinelnikov@vniir-m.ru

Sinelnikov Y. G., leading Researcher, FSBI "VNIIR", +7 (495) 586–17–21, sinelnikov@vniir-m.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы корректности применения сокращённой выборки, относительно нормальной выборки, определённой для требуемых значений вероятности безотказной работы и доверительной вероятности, при испытаниях на надёжность. Проведённое при подготовке статьи математическое моделирование показало неоднозначность полученных результатов испытаний при применении сокращённой выборки. Приведённые в статье положения могут быть использованы при планировании испытаний и проведении исследований методов подтверждения требований к надёжности.

Annotation. The article considers the issues of correctness of application of reduced sampling, relative to normal sampling, defined for required values of probability of failure-free operation and confidence probability, in reliability tests. Mathematical modeling conducted during preparation of the article showed ambiguity of obtained test results when using reduced sampling. The provisions given in the article can be using in planning tests and conducting research into methods of confirming reliability requirements.

Ключевые слова: электронная компонентная база, надёжность, вероятность безотказной работы, доверительная вероятность, доверительный интервал, статистические методы, испытания на надёжность.

Keywords: electronic component base, failure-free operation, probability of failure-free operation, confidence probability, confidence interval, statistical methods, reliability tests.

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

Введение

Современный уровень требований к радиоэлектронной аппаратуре (далее – РЭА) диктует уровень требований к надёжности электронной компонентной базы (далее – ЭКБ), значительно превышающий значения показателя вероятности безотказной работы, равное 0,99.

В этих условиях возникает вопрос о балансе достоверности и экономической эффективности проведения испытаний на надёжность ЭКБ на нормальных объёмах выборок n_p , которые рассчитываются традиционными



Синельников Ю. Г.

методами с применением доверительных интервалов. Для построения доверительных интервалов при больших значениях вероятности безотказной работы P_0 , применяют методы, основанные на биномиальном распределении случайной величины результатов испытаний (положительные или отрицательные). Для биномиального распределения, при заданных значениях вероятности безотказной работы P_0 и доверительной вероятности β , при отсутствии отказов, объём нормальной выборки n_0 рассчитывается по формуле [1]:

$$n_0 = \frac{\ln(1-\beta)}{\ln P_0} \quad (1)$$

Зачастую, при испытаниях применяется сокращённая выборка, а значения полученных параметров-критериев годности (далее – ПКГ) обрабатываются с применением доверительных интервалов, рассчитанных на основе нормального закона распределения случайной величины с математическим ожиданием m и среднеквадратичным отклонением σ с учетом вероятности безотказной работы P_0 и доверительной вероятности β , но для объёма выборки n , значительно меньшего, чем нормальный объём выборки. При этом не учитывается, что для нормального объёма выборки существует свой доверительный интервал, рассчи-

тываемый на основе нормального закона распределения случайной величины с параметрами $\eta_0, P_0, \beta, \sigma_0$ [1], [2].

Например, если при требуемом нормальном объёме выборки $n_0 = 92$, на испытания ставится сокращённый объём выборки $n = 10$, то из (1) получаем:

$$\beta = 1 - P_0^{n_0} = 1 - 0,99^{10} = 0,096, \quad (2)$$

что на порядок хуже обычно требуемых значений β равных 0,6 или 0,9.

Для определения значимости полученных результатов испытаний на сокращённой выборке n было проведено математическое моделирование испытаний для различных объёмов выборок n_0 и последующая обработка результатов статистическими методами с определением значимость путём сравнения полученных результатов.

Основная часть

В таблице 1 представлены результаты расчёта по формуле (1) объёмов нормальных выборок с учётом современных требований к вероятности безотказной работы и доверительной вероятности, округлённые в большую сторону до целого значения чисел.

Таблица 1

Объёмы нормальных выборок n_0

$P_0 \rightarrow$	0,90000	0,95000	0,97500	0,99000	0,99900	0,99950	0,99990	0,99995	0,99999
β									
0,6	9	18	37	92	916	1 833	9 163	18 326	91 629
0,9	22	45	91	230	2 302	4 605	23 025	46 051	230 258

Допустим, что при объёме выборки, равном n_0 и выше, полученные ПКГ имеют случайный характер, распределены по нормальному закону с функцией распределения $F_0(x)$, математическим ожиданием m_0 и среднеквадратичным отклонением σ_0 .

Если на испытания ставится выборка меньшего объёма n (сокращённый объём выборки), то при $n \geq 10$ возможно предположить, что полученные значения ПКГ имеют случайный характер, распределены по нормальному закону [2] с функцией распределения $F(x)$ и выборочным среднеквадратичным отклонением σ .

Предположим, что выполнены испытания объёма выборки n_0 . В результате получен массив нормально распределённых значений ПКГ объёма n_0 . Рассчитаем математическое ожидание m_0 :

$$m_0 = \sum_{i=1}^{n_0} x_i / n_0 \quad (3)$$

и среднеквадратичное отклонение σ_0 :

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{1}{n_0-1} \cdot \sum_{i=1}^{n_0} (x_i - m_0)^2}. \quad (4)$$

Для $\beta = 0,6$ определим доверительный интервал l_0 , а также верхнюю и нижнюю доверительные границы математического ожидания m_0 согласно таблице 6.2 источника [2]:

$$l_0 = t_{1-\frac{\alpha}{2}}(\nu) \cdot \frac{\sigma_0}{\sqrt{n_0}}, \quad (5)$$

$$m_{0,верх} = m_0 + l_0, \quad (6)$$

$$m_{0,нижн} = m_0 - l_0, \quad (7)$$

где $\alpha = 1 - \beta$, $t_{1-\frac{\alpha}{2}}(\nu)$, – квантиль распределения Стьюдента с $\nu = n - 1$ степенями свободы.

Аналогично, для случайной выборки n , рассчитаем математическое ожидание m , среднеквадратичное отклонение σ , определим верхнюю и нижнюю доверительные границы математического ожидания $m_{верх}$ и $m_{нижн}$.

Теперь оценим соотношение доверительных границ математического ожидания на примере верхних доверительных границ:

$$\frac{m_{0,верх}}{m_{верх}} = \frac{m_0 + t_{1-\frac{\alpha}{2}}(\nu) \frac{\sigma_0}{\sqrt{n_0}}}{m + t_{1-\frac{\alpha}{2}}(\nu) \frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad (8)$$

Их формулы (8) видно, что доверительные границы не равны и зависят от неравных для n_0 и n значений m , $t_{1-\frac{\alpha}{2}}(\nu)$, σ и собственно неравенства n_0 и n .

Математическое моделирование испытаний (далее – моделирование, испытания) выполняется при предположении, что проводятся испытания изделия ЭКБ имеющего один ПКГ, который ограничен нормами сверху. Для получения массива значений ПКГ, распределённого, как сказано выше, по нормальному закону, используем

функцию генерации случайных чисел надстройки «Анализ данных» пакета Microsoft Excel при среднем значении случайной величины равной 100 и стандартном отклонении равном 1. Значения наборов случайных величин соответствуют объёмам выборок при испытаниях. Для получения значительной статистики проведём 18 серий по 5 000 испытаний с объёмами выборок от 10 до 5 000 образцов: $n = (10, 18, 25, 37, 50, 75, 92, 100, 250, 500, 750, 916, 1\ 000, 1\ 833, 2\ 000, 3\ 000, 4\ 000, 5\ 000)$. Дополнительно, выполним расчёты и испытания для $n = (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)$.

Для каждого из 5 000 испытаний всех серий вычислим значения переменных по формулам (3) – (7), а также вероятности безотказной работы для верхних ПКГ значений норм ПКГ через функцию нормального нормированного распределения $F(x)$, необходимые для положительного решения при выполнении подтверждения требований к надёжности по формуле:

$$P_{\text{верх}} = F\left\{\frac{\text{ПКГ}_{\text{верх}} - m_{\text{верх}}}{S_{\text{верх}}}\right\}, \quad (9)$$

где $S_{\text{верх}}$ – верхняя односторонняя доверительная граница стандартного отклонения, определяемая по формуле:

$$S_{\text{верх}} = \sigma \cdot \sqrt{\frac{(n-1)}{\chi^2_{\alpha}(v)}}, \quad (10)$$

где – квантиль χ^2 распределения с степенями свободы, соответствующий доверительной вероятности.

Результаты расчетов математического ожидания, среднеквадратичного отклонения и верхней односторонней доверительной границы стандартного отклонения, соответственно, минимальные значения $m_{\text{мин}}, \sigma_{\text{мин}}$ и $S_{\text{верх. мин}}$, максимальные значения $m_{\text{макс}}, \sigma_{\text{макс}}$ и $S_{\text{верх. макс}}$, разница между максимальными и минимальными значениями $\Delta m, \Delta \sigma$ и $\Delta S_{\text{верх}}$, а также средние значения $m_{\text{ср}}, \sigma_{\text{ср}}$ и $S_{\text{верх. ср}}$ по результатам 5 000 испытаний для каждого n представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчетов m, σ и $S_{\text{верх}}$

n	$m_{\text{мин}}$	$m_{\text{макс}}$	Δm	$m_{\text{ср}}$	$\sigma_{\text{мин}}$	$\sigma_{\text{макс}}$	$\Delta \sigma$	$\sigma_{\text{ср}}$	$S_{\text{верх. мин}}$	$S_{\text{верх. макс}}$	$\Delta S_{\text{верх}}$	$S_{\text{верх. ср}}$
2	97,49	102,32	4,83	99,97	0,00	4,16	4,16	0,80	0,00	4,95	4,94	0,94
3	97,87	102,14	4,27	100,00	0,00	3,16	3,16	0,89	0,00	3,30	3,30	0,93
4	96,68	101,65	4,97	99,98	0,05	4,16	4,10	0,92	0,05	4,19	4,14	0,93
5	98,23	102,08	3,85	100,00	0,07	4,42	4,35	0,93	0,07	4,39	4,33	0,93
6	98,55	101,63	3,07	99,99	0,11	4,10	3,99	0,96	0,11	4,05	3,94	0,95
7	98,21	101,28	3,07	100,00	0,12	3,75	3,62	0,96	0,12	3,68	3,56	0,95
8	98,32	101,43	3,11	100,00	0,23	3,53	3,30	0,97	0,23	3,46	3,23	0,95
9	98,62	101,20	2,58	100,00	0,28	3,34	3,06	0,98	0,28	3,27	2,99	0,96
10	98,77	101,16	2,39	100,01	0,25	3,20	2,96	0,98	0,24	3,13	2,89	0,96
18	98,94	100,75	1,81	100,00	0,44	2,49	2,04	0,98	0,43	2,43	2,00	0,96
25	99,14	100,71	1,57	100,00	0,54	2,33	1,79	0,99	0,52	2,28	1,75	0,97
37	99,36	100,58	1,21	100,00	0,61	1,89	1,27	0,99	0,60	1,85	1,25	0,97
50	99,44	100,56	1,12	100,00	0,69	1,73	1,04	1,00	0,67	1,70	1,02	0,98
75	99,57	100,39	0,82	100,00	0,73	1,57	0,84	1,00	0,71	1,54	0,83	0,98
92	99,63	100,43	0,81	100,00	0,77	1,52	0,75	1,00	0,76	1,50	0,74	0,98
100	99,64	100,37	0,73	100,00	0,76	1,46	0,70	1,00	0,75	1,44	0,69	0,98
250	99,77	100,22	0,45	100,00	0,86	1,25	0,39	1,00	0,85	1,23	0,38	0,99
500	99,83	100,18	0,35	100,00	0,89	1,18	0,29	1,00	0,88	1,17	0,29	0,99
750	99,88	100,14	0,26	100,00	0,91	1,12	0,22	1,00	0,90	1,12	0,22	1,00
916	99,89	100,12	0,23	100,00	0,91	1,12	0,21	1,00	0,90	1,11	0,21	1,00
1000	99,89	100,12	0,23	100,00	0,92	1,10	0,18	1,00	0,92	1,10	0,18	1,00
1833	99,91	100,09	0,18	100,00	0,94	1,08	0,13	1,00	0,94	1,07	0,13	1,00
2000	99,92	100,07	0,16	100,00	0,94	1,07	0,13	1,00	0,94	1,07	0,13	1,00
3000	99,93	100,07	0,14	100,00	0,95	1,06	0,10	1,00	0,95	1,05	0,10	1,00
4000	99,95	100,05	0,11	100,00	0,96	1,04	0,09	1,00	0,96	1,04	0,09	1,00
5000	99,95	100,05	0,11	100,00	0,97	1,04	0,07	1,00	0,96	1,03	0,07	1,00

На первом этапе испытаний, последовательно для каждого значения из ряда $n_0 = (18, 25, 37, 50, 75, 92, 100, 250, 500, 750, 916, 1\ 000, 1\ 833, 2\ 000, 3\ 000, 4\ 000, 5\ 000)$ подберём такие нормы ПКГ при ограничении сверху нормой ПКГ, чтобы значения всех полученных в результате 5 000 испытаний соответствующих вероятностей $P_{\text{верх}}$ были больше или равны P_0 с точностью не хуже 1^{-10} , то есть, чтобы все 5000 результатов испытаний для текущего значения n_0 были минимально положительными. При этом, также

получим и проанализируем результаты испытаний для значений n от 10 до текущего значения n_0 при значениях ПКГ и P_0 , полученных для текущего значения n_0 .

На втором этапе испытаний, последовательно для каждого значения из ряда $n_0 = (18, 25, 37, 50, 75, 92, 100, 250, 500, 750, 916, 1\ 000, 1\ 833, 2\ 000, 3\ 000, 4\ 000, 5\ 000)$ подберём такие нормы ПКГ при ограничении сверху нормой ПКГ, чтобы значения всех полученных в результате 5 000 испытаний соответствующих вероятностей $P_{\text{верх}}$

были меньше P_0 с точностью не хуже 1^{-10} , то есть, чтобы все 5000 результатов испытаний для текущего значения n_0 были минимально отрицательными. При этом, также получим и проанализируем результаты испытаний для значе-

ний n от 10 до текущего значения n_0 при значениях $ПКГ_{\text{верх}}$ и P_0 , полученных для текущего значения n_0 .
Полученные исходные данные для испытаний первого и второго этапов приведены таблице 3.

Таблица 3

Исходные данные для испытаний первого и второго этапов

n	P	ПКГ _{верх}	
		Этап 1	Этап 2
18	0,950369	104,025244915	100,494972645
25	0,964012	104,071792760	100,663455426
37	0,975540	103,805144412	100,924284972
50	0,981841	103,880975576	101,297209407
75	0,987857	103,512895225	101,466988258
92	0,990090	103,542363016	101,715792294
100	0,990879	103,700144335	101,680287824
250	0,996342	103,315086090	102,248361002
500	0,998169	103,404283600	102,564111419
750	0,998779	103,475297080	102,685860978
916	0,999000	103,488152300	102,821422910
1000	0,999084	103,440205923	102,869766370
1833	0,999500	103,548819300	103,091656700
2000	0,999542	103,542993050	103,110823030
3000	0,999695	103,635965370	103,242220450
4000	0,999770	103,683698000	103,346648100
5000	0,999816	103,714728000	103,439266350

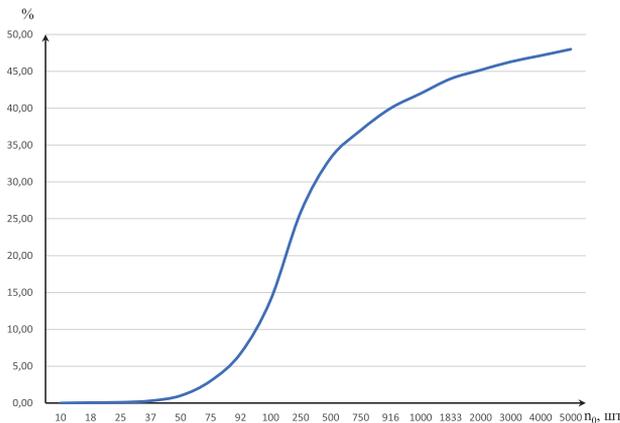


Рис. 1. Зависимость доли ложноотрицательных результатов испытаний при замене n_0 на сокращённый объём выборки $n=10$

Обработку результатов испытаний будем выполнять для значений вероятности P_0 из таблицы 1 для значения $\beta = 0,6$, как наиболее применяемого на практике.

Критерием положительных результатов испытаний будем считать соответствие полученных вероятностей $P_{\text{верх}}$ заданным нормам, то есть $P_{\text{верх}} \geq P_0$.

Критерий $ПКГ \leq ПКГ_{\text{верх}}$ учитывать не будем, так как для этапа 1 доля испытаний с $ПКГ > ПКГ_{\text{верх}}$ не превышает 1%, а для этапа 2 доля испытаний с $ПКГ > ПКГ_{\text{верх}}$ примерно одинакова ($\pm 1\%$) по всем сериям испытаний.

По результатам испытаний возможно констатировать следующее.

На первом этапе, после замены выборки n_0 на сокращённую $n = 10$, были получены ложноотрицательные ре-

зультаты испытаний. При этом, чем больше величина n_0 , тем больше процент ложноотрицательных результатов.

На рис. 1 показана сглаженная зависимость доли ложноотрицательных результатов испытаний при замене нормального объёма выборки n_0 на сокращённый объём выборки $n = 10$, полученная при обработке данных на первом этапе испытаний.

На втором этапе испытаний, после замены выборки n_0 на сокращённую $n = 10$, были получены ложноположительные результаты. При этом, также, чем больше величина n_0 , тем больший процент ложноположительных результатов.

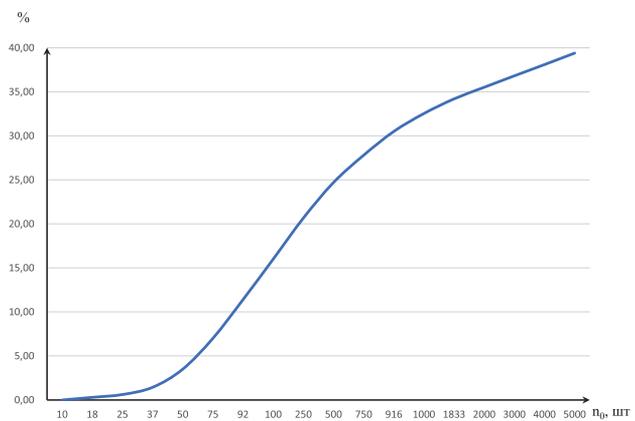


Рис. 2. Зависимость доли ложноположительных результатов при замене n_0 на сокращённый объём выборки $n=10$

На рис. 2 показана сглаженная зависимость доли ложноположительных результатов испытаний при замене нормального объёма выборки n_0 на сокращённый объём

выборки $n = 10$, полученная при обработке данных второго этапа испытаний.

Стоит также отметить следующую закономерность: чем шире диапазон норм ПКГ, тем при меньшем количестве образцов, вплоть до 2-х, возможно «достоверно» подтвердить заданные требования к надёжности.

То есть, при задании более широкого диапазона норм ПКГ на этапе проектирования ЭКБ, возможно получить стопроцентно положительные результаты испытаний на любом объёме выборки. Кроме того, возможно утверждать, что и применение методов статистического прогнозирования при неадекватно широком диапазоне норм ПКГ не даст адекватного результата, что собственно и предполагается изучить на следующем этапе моделирования.

На рис. 3 приведены зависимости доли положительных результатов 5 000 испытаний от величины ПКГ_{верх} для выборки $n_0 = 92$ и «положительных» результатов 5 000 испытаний от величины ПКГ_{верх} для сокращённых выборок для $n = 10$ и $n = 2$. Из графиков видно, что, при снижении объёма выборки и расширении диапазона норм ПКГ, получаются положительные результаты всех 5 000 испытаний для любой сокращённой выборки, что подтверждает статистическую несостоятельность и недостоверность испытаний при расширенном диапазоне норм ПКГ.

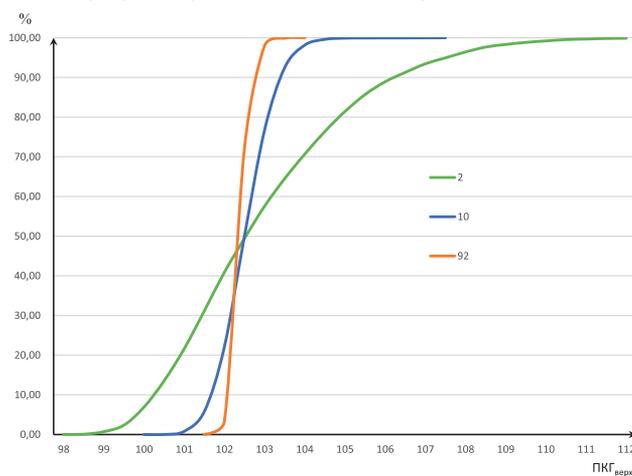


Рис. 3. Доля «положительных» результатов испытаний в зависимости от величины ПКГ_{верх}

Дополнительно, по результатам первого и второго этапа испытаний необходимо отметить, что, если при определении доверительных интервалов вместо формулы (4) использовать формулу для расчета односторонних доверительных интервалов математического ожидания m_0 согласно таблице 6.2 источника [2]:

$$l_0 = t_{\beta}(v) \cdot \frac{\sigma_0}{\sqrt{n_0}} \quad (11)$$

где $t_{\beta}(v)$ – соответствующий односторонний квантиль распределения Стьюдента с $v = n - 1$ степенями свободы, то мы получим снижение количества ложноотрицательных результатов испытаний по первому этапу, но при этом возрастает количество ложно-положительных результатов испытаний по второму этапу, что является наименее желательным явлением при оценке надёжности изделий.

Сравнение зависимостей доли ложноположительных результатов для различных l_0 показано на рис. 4.

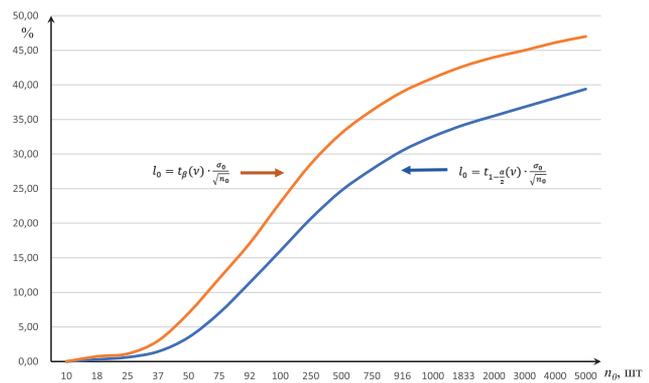


Рис. 4. Сравнение зависимостей доли ложноположительных результатов для различных l_0

Заключение

Таким образом:

1) при высоком уровне требований к надёжности ($P > 0,99$), применение статистических методов в чистом виде для обработки данных, полученных при испытаниях на сокращённой выборке, не отвечает условиям обеспечения достоверности результатов испытаний по следующим причинам:

- возможность получения значительного количества ложноотрицательных результатов, что приведёт к удорожанию разработки или производства изделий;
- возможность получения значительного количества ложноположительных результатов, что приведёт к последующим отказам РЭА, в которой будут применяться изделия;

2) при применении статистических методов обработки данных, полученных при испытаниях, для вычисления доверительных границ математического ожидания необходимо использовать двусторонний симметричный доверительный интервал для математического ожидания, как более жёсткий вариант по сравнению с односторонним доверительным интервалом. Кроме того, применение двустороннего симметричного доверительного интервала позволит сократить ложноположительные результаты испытаний;

3) значения ПКГ изделий необходимо корректировать по результатам обработки данных испытаний [3] для следующего:

- применения методов, включающих статистическую обработку результатов;
- применения методов, включающих статистическое прогнозирование;
- более качественного проектирования РЭА.

Полученные в результате моделирования данные могут быть использованы при изучении статистических методов обработки результатов испытаний ЭКБ на надёжность различными методами, например, приведёнными в [4], а также при планировании испытаний по подтверждению требований надёжности для обеспечения их достоверности.

Направление дальнейших исследований

Для подтверждения современного уровня требований к надёжности изделий необходимо разрабатывать новые методы ускоренных испытаний. На основе литературных данных можно выделить следующие направления:

1) сочетание методов статистической обработки с методами глубокого машинного обучения для оптимизации моделей обработки результатов ускоренных испытаний [5, 6];

2) применение расчетно-экспериментальных методов, основанных на испытаниях тестовых структур в наиболее жёстких режимах и условиях с последующей надёжностной аттестацией технологий и контролем уровня качества выпускаемых по аттестованной технологии изделий путём проведения кратковременных испытаний на безотказность [7];

3) применение расчетно-экспериментальных методов, основанных на испытаниях применяемых материалов [7].

Реализация указанных методов требует дополнительных исследований и разработки соответствующей нормативной базы.

Литература

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969.
2. ГОСТ 50779.21-2004 «Статистические методы. Пра-

вила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение».

3. ГОСТ Р 57409-2017 «Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Порядок и методы установления норм на параметры и определение типовых характеристик».
4. Веденеев Ю.З., Булгаков В.О. Об одном методе прогнозирования показателей сохраняемости электронной компонентной базы, Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения, 4-2021.
5. Wentian Jin, Machine Learning Approaches for VLSI Reliability Analysis, A Dissertation submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Electrical Engineering, 2023.
6. Cherry Bhargava, AI Techniques for Reliability Prediction for Electronic Components, IGI Global, 2019.
7. Noboru Shiono, Eisuke Arai, and Shin'ichiro Mutoh, Historical Overview of Semiconductor Device Reliability for Telecommunication Networks— Field Data, Prediction Model of Device Failure Rate, and Wear-out Failure Analyses at NTT, NTT Technical Review, May 2013, Vol. 11, No. 5.

УДК 658.562.42

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ,
ПОСТАВЛЯЕМОЙ ДЛЯ АППАРАТУРЫ ШИРОКОГО СПЕКТРА НАЗНАЧЕНИЯ**

**IMPROVING THE INPUT CONTROL PROCESS FOR ELECTRONIC COMPONENTS SUPPLIED
TO EQUIPMENT FOR A WIDE VARIETY OF APPLICATIONS**

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. Важным элементом системы менеджмента качества поставщиков электронной компонентной базы (ЭКБ) является входной контроль поставляемой продукции. В данной статье сформулированы предложения по повышению результативности входного контроля ЭКБ в части документирования процесса, обеспечения устройствами для мониторинга и измерений и риск-ориентированного мышления.

Annotation. An essential component of the quality management system for suppliers of electronic components is the input control of products they supply. This article proposes improvements to the efficiency of input control for electronic components in terms of documentation, monitoring, and measurement, as well as a risk-based approach.

Ключевые слова: поставщики электронной компонентной базы, входной контроль продукции, система менеджмента качества.

Keywords: suppliers of electronic components, input product control, quality management system.

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

Введение

Среди потребителей электронной компонентной базы (далее – ЭКБ) можно выделить предприятия, осуществляющие изготовление высокотехнологичной аппаратуры широкого спектра назначения. При выборе внешних поставщиков продукции данные потребители,

на основании проводимых оценок отдают предпочтение поставщикам ЭКБ, имеющим сертифицированную систему менеджмента качества (далее – СМК), на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015 и (или) документов по стандартизации оборонной продукции и руководящих документов. В пункте 8.4 стандарта [1]

прописано требование о необходимости верификации внешней продукции и услуг. Основным межгосударственным стандартом, регламентирующим входной контроль продукции, является ГОСТ 24297-2013 «Верификация закупленной продукции. Организация проведения и методы контроля». Входной контроль в организациях, изготавливающих и поставляющих ЭКБ военного назначения, проводится с учетом требований ГОСТ РВ 0015-308-2017 «Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Входной контроль изделий. Основные положения».

Под входным контролем понимается контроль изделий поставщика, поступивших к потребителю и предназначенных для использования при изготовлении, ремонте и эксплуатации продукции [2]. Как правило, входной контроль выделен в функциональной структуре СМК поставщиков ЭКБ в отдельный ключевой (основной) процесс СМК [3, 4], от результативного функционирования которого зависит выполнение требований потребителей, репутация и надежность поставщика ЭКБ.



Шведов А.В.

Основная часть

В ООО «ВИТАЛ ЭЛЕКТРОНИКС ВП» было проведено исследование по улучшению процесса входного контроля ЭКБ. На первом этапе была разработана карта процесса, приведенная в виде таблицы 1, в которой визуализированы основные составляющие процесса с учётом пункта 4.4 стандарта [1].

Таблица 1

Карта процесса СМК «Входной контроль ЭКБ»

Цели процесса:
Проверка соответствия качества поставляемой ЭКБ, предотвращение применения при разработке, изготовлении, эксплуатации и ремонте потребителем изделий ЭКБ, не соответствующих требованиям технической и конструкторской документации, документов по стандартизации и контрактов на поставку.
Ответственные:
<ul style="list-style-type: none"> • руководитель процесса: заместитель генерального директора по качеству; • исполнители процесса: специалисты службы качества, ответственные за проведение входного контроля ЭКБ.
Входы процесса:
<ul style="list-style-type: none"> • закупленная ЭКБ; • сопроводительная документация на закупленную ЭКБ; • подписанный договор на поставку ЭКБ потребителю (в части проведения входного контроля и идентификации).
Выходы процесса:
<ul style="list-style-type: none"> • ЭКБ, прошедшая входной контроль в соответствии с требованиями потребителя; • документация, подтверждающая проведения входного контроля ЭКБ.
Внешние документы по стандартизации, регламентирующие процесс:
<ul style="list-style-type: none"> • ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования»; • ГОСТ РВ 0015-002-2020 «Система разработки и постановки на производство военной техники. Система менеджмента качества. Требования»; • ГОСТ РВ 0015-308-2017 «Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Входной контроль изделий. Основные положения»; • ГОСТ 24297-2013 «Верификация закупленной продукции. Организация проведения и методы контроля»; • ГОСТ Р 57880-2017 «Система защиты от фальсификаций и контрафакта. Электронные изделия. Предотвращение получения, методы обнаружения, сокращение рисков применения и решения по использованию фальсифицированной и контрафактной продукции»; • 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».
Внутренние документы по стандартизации, регламентирующие процесс:
<ul style="list-style-type: none"> • РК ВЭВП 01.01-2022 СМК «Руководство по качеству»; • СТО ВЭВП 01.05-2021 СМК «Входной контроль поставляемой продукции»; • СТО ВЭВП 01.15-2018 СМК. «Противодействие поставкам контрафактной и фальсифицированной продукции».

Общий порядок проведения входного контроля ЭКБ:
<ul style="list-style-type: none"> • проверка сопроводительной документации; • фотографирование упаковки и этикетки; • вскрытие упаковки; • проверка ЭКБ на соответствие комплектности и количества; • контроль маркировки, состояния корпусов, внешних выводов, проверка ЭКБ на определение наличия (отсутствия) признаков контрафактного происхождения; • фотографирование ЭКБ; • упаковка ЭКБ; • инструментальный контроль (проверка массы, габаритных, установочных и присоединительных размеров), если это предусмотрено контрактом на поставку; • печать этикетки и ее фотографирование; • оформление отчетности по результатам входного контроля.
Риски, возникающие при реализации процесса:
<ul style="list-style-type: none"> • риск ошибочных решений о соответствии ЭКБ из-за недостатка информационно-справочных материалов по номенклатуре ЭКБ ИП; • непреднамеренные ошибочные действия персонала при проведении входного контроля ЭКБ из-за чрезмерно интенсивной работы; • риск ошибочных решений о соответствии ЭКБ из-за отсутствия технических средств и оборудования; • приведение закупленной продукции в несоответствие из-за некомпетентности персонала; • ложное забракование ЭКБ из-за некомпетентности персонала; • риск ошибочных решений о соответствии ЭКБ из-за применения непригодных устройств для мониторинга и измерений.
Ресурсы:
<ul style="list-style-type: none"> • персонал Службы качества; • инфраструктура рабочих мест для проведения входного контроля ЭКБ; • конструкторская и технологическая документация на поставляемую продукцию, документация СМК; • средства измерений, инструменты и оснастка.
Мониторинг:
<ul style="list-style-type: none"> • при анализе удовлетворенности потребителей; • при проведении сквозного контроля подразделений по выполнению процедуры идентификации и прослеживаемости закупаемых и поставляемых ЭКБ; • при внутреннем аудите процесса; • при проведении совещаний Совета по качеству.
Оценка результативности:
<ul style="list-style-type: none"> • Критерии: <ul style="list-style-type: none"> - доля продукции, на которую не получены рекламации, в общем числе поставленной продукции; - доля продукции, на которую не получены претензии, не оформленные в виде рекламаций; - доля ЭКБ, соответствующая технической документации и не забракованной Службой качества при входном контроле; • Периодичность оценки: один раз в год; • Ответственный: заместитель генерального директора по качеству.

Мероприятия по организации и порядку проведения входного контроля ЭКБ следует подробно регламентировать во внутренней нормативной документации СМК (положение, стандарт, инструкция). В данном документе следует отразить следующее [4, 5]:

- цель процесса (выполняемых работ);
- ответственность по процессу;
- требования к проведению входного контроля (требования к персоналу, инфраструктуре, устройствам для мониторинга и измерений, производственной среде, включая защиту от электростатического заряда);
- порядок проведения входного контроля ЭКБ;

- методы противодействия поставкам контрафактной и фальсифицированной продукции с учетом требований, прописанных в [6];
- порядок проведения перепроверки и передачи ЭКБ для испытаний;
- порядок ведения отчетности по результатам входного контроля ЭКБ;
- показатели результативности процесса;
- действия в отношении рисков, возникающих при реализации процесса;
- приложения, в которых целесообразно привести карту процесса, формы отчетных документов (журнал

входного контроля, этикетки), перечень изделий, подлежащих входному контролю, с учетом требований в [5].

На втором этапе была разработана диаграмма Ганта, которая позволила оценить длительность этапов входного контроля ЭКБ (приведена на рис. 1). Входной контроль ЭКБ, проводимый предприятиями-поставщиками ЭКБ, включает следующие основные этапы [3, 5, 7]:

1. проверка сопроводительной документации;
2. фотографирование упаковки и этикетки;
3. вскрытие упаковки;
4. проверка ЭКБ на соответствие комплектности и количества;
5. контроль маркировки, состояния корпусов, внешних выводов, проверка ЭКБ на определение наличия (отсутствия) признаков контрафактного происхождения;
6. инструментальный контроль (проверка массы, га-

баритных, установочных и присоединительных размеров), если это предусмотрено контрактом на поставку;

7. фотографирование ЭКБ;
8. упаковка ЭКБ;
9. печать этикетки и ее фотографирование;
10. оформление отчетности по результатам входного контроля.

Длительность выполнения задач была рассчитана при проведении входного контроля по документации и внешнему виду интегральных микросхем производства Analog Devices в количестве 325 штук, которые были упакованы в ленту.

Наиболее длительными оказались:

- этап 4 (в части осуществления пересчета ЭКБ);
- этап 10 (в части оформления журнала входного контроля ЭКБ на бумажном носителе).

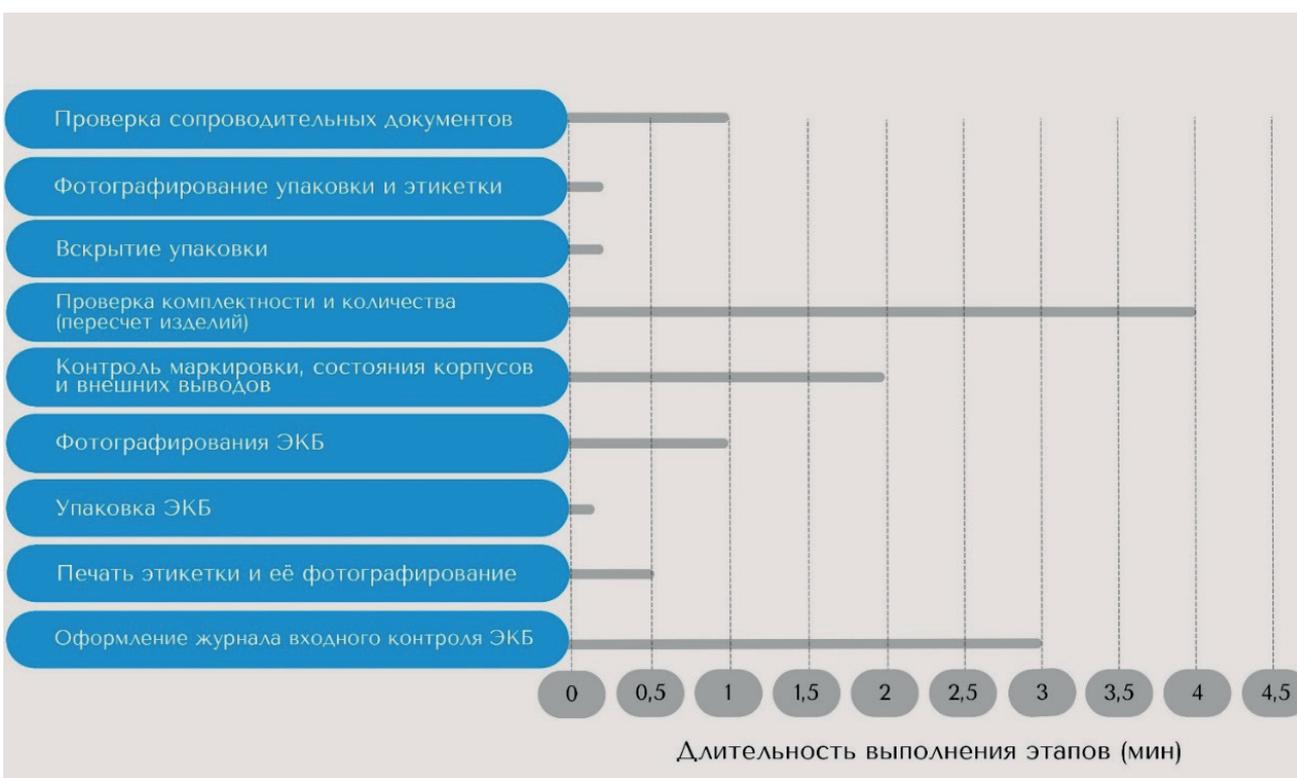


Рис. 1. Диаграмма Ганта процесса «Входной контроль ЭКБ»

Для сокращения длительности этапа 4, было принято решение о приобретении ручного счетчика электронных компонентов Magic M Component Counter, внешний вид которого представлен на рис. 2.



Рис. 2. Ручной счетчик электронных компонентов Magic M Component Counter

Подсчет ЭКБ ведется в двух режимах: подсчет лент с компонентами и подсчет компонентов с аксиальными и радиальными выводами. Данное устройство не относится к средствам измерений и не подлежит обязательной метрологической поверке, поэтому с целью установления порядка управления данным счетчиком была разработана рабочая инструкция по особенностям его эксплуатации и обслуживанию.

Было также принято решение о том, что подсчет ЭКБ, поставляемой россыпью (элементы крепления, составные части электрических соединителей и др.) в больших количествах (больше 1000 шт. в одной партии), следует проводить на лабораторных весах, с функцией счетного режима. Для данного средства измерений (далее – СИ) необходимо организовывать ежегодную метрологическую

поверку. Порядок управления СИ целесообразно указать в отдельной документированной процедуре СМК.

Важно отметить, что в нормативной документации в части управления средствами для измерений и мониторинга, применяемых поставщиком, необходимо установить требования о правомочности результатов предыдущих измерений для снижения вероятности возникновения рисков, связанных с ошибочными решениями о качестве продукции. Подробно этот вопрос рассматривался в публикации [8].

Для сокращения длительности этапа 10 было принято решение о ведении и формировании отчетности в электронном виде. При этом с учетом требований, установленных в [3] и [4] предусматривается регистрация следующих данных:

- наименование изделия;
- наименование производителя и страны происхождения;
- наименование поставщика;
- дата изготовления;
- номер партии;

- количество проверенных изделий;
- документы на поставку;
- принадлежность изделий к конкретному заказу (счету) с указанием потребителя и номера договора;
- количество забракованных изделий;
- заключение о результатах проверки и испытаний изделий;
- данные о наличии (отсутствии) признаков ЭКБ контрафактного происхождения;
- дата проведения входного контроля;
- ответственного представителя службы качества, который проводил входной контроль изделий;
- фотографии этикеток, упаковки и ЭКБ.

Кроме того, при проведении исследования был расширен перечень рисков, возникающих при реализации входного контроля ЭКБ. В таблице 2 приведены наименования рисков, действия (мероприятия) по снижению вероятности их возникновения и ответственные за проведения действий (мероприятий).

Таблица 2

Перечень рисков, возникающих при реализации процесса «Входной контроль ЭКБ»

№ п/п	Наименование рисков	Мероприятия по снижению вероятности возникновения рисков	Ответственный за проведение мероприятий
1.	Риск ошибочных решений о соответствии ЭКБ из-за недостатка информационно-справочных материалов по номенклатуре ЭКБ ИП	Запрос информационно-справочных материалов ЭКБ ИП у поставщиков через отдел технической поддержки, формирование информационной базы ЭКБ ИП	Заместитель генерального директора по качеству
2.	Непреднамеренные ошибочные действия персонала при проведении входного контроля ЭКБ из-за чрезмерно интенсивной работы	Четкое планирование рабочего дня	Заместитель генерального директора по качеству
3.	Риск ошибочных решений о соответствии ЭКБ из-за отсутствия технических средств и оборудования	Обращение в испытательный центр (лабораторию)	Заместитель генерального директора по качеству
4.	Приведение закупленной продукции в несоответствие из-за некомпетентности персонала	Организация своевременного обучения персонала	Заместитель генерального директора по качеству
5.	Ложное забракование ЭКБ из-за некомпетентности персонала	Организация своевременного обучения персонала	Заместитель генерального директора по качеству
6.	Риск ошибочных решений о соответствии ЭКБ из-за применения непригодных устройств для мониторинга и измерений	Своевременная поверка и своевременное обслуживания устройств для мониторинга и измерений	Заместитель генерального директора по качеству

Заключение

Поставщики ЭКБ занимают важное место в системе распространения электронной продукции [9]. От того, насколько результативно и эффективно будет проведен входной контроль продукции, зависит полнота выполнения требований потребителя, а значит репутация и надежность поставщика. Сформулированные предложения по повышению результативности входного контроля ЭКБ позволят улучшить деятельность по организации входного контроля продукции.

Литература:

1. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 «Системы менеджмента качества. Требования».
2. ГОСТ 16504-81 «Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения».
3. ЭС РД 009-2023 «Дополнительные требования к системе менеджмента качества организаций-поставщиков электронной компонентной базы военного и двойного назначения».

4. ЭС РД 010-2020 «Требования к поставщикам электронной компонентной базы и порядок их квалификации».
5. ГОСТ 24297-2013 «Верификация закупленной продукции. Организация проведения и методы контроля».
6. ГОСТ Р 57880—2017 «Система защиты от фальсификации и контрафакта. Изделия электронные. Предотвращение получения, методы обнаружения, сокращения рисков применения и решения по использованию фальсифицированной и контрафактной продукции».
7. 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.
8. 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.
9. Подъяпольский С.Б., Булгаков О.Ю., Осипова Е.М. О некоторых аспектах распространения электронной продукции в радиоэлектронной отрасли // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2022. № 3 (7). С. 4-7.

УДК 006.3/8

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К СОВРЕМЕННЫМ ПОДХОДАМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОДУКЦИИ

ON THE SPECIFICS OF STANDARDIZATION IN THE FIELD OF TECHNICAL REQUIREMENTS FOR MODERN APPROACHES IN THE DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF ELECTRONIC PRODUCTS

Булгаков О.Ю., к. воен. н., заместитель директора центра стандартизации и испытаний,
Подъяпольский С.Б., к. т. н., консультант по научной работе, ФГБУ «ВНИИР», +7 (985) 725-73-68, psb@vniir-m.ru;
Ковганич Ю.В., начальник отдела департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга России, +7 (985) 725-73-68, psb@vniir-m.ru

Bulgakov O.Yu., Candidate of Military Sciences, Deputy Director of the Center for Standardization and Testing FGBI "VNIIR",
Podyapolsky S.B., Candidate of Technical Sciences, consultant on scientific work FGBI "VNIIR", +7 985-725-73-68, psb@vniir-m.ru;

Kovganich Yu.V., Head of the Department of the Department of Radioelectronic Industry of the Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation; +7 (985) 725-73-68, psb@vniir-m.ru

Аннотация: В статье рассматриваются существующие противоречия в области разработки, производства, поставки ЭКБ в объекты критической информационной инфраструктуры. В сложившихся условиях определяются противоречия и предлагается для их разрешения актуальная задача необходимости развития отраслевой системы стандартизации. Раскрываются особенности современного этапа разработки, производства и поставок электронной продукции для российских потребителей, создания страховых запасов, а также противодействия поставкам контрафактной продукции. Предложены подходы к решению сформулированной актуальной задачи. Излагаются подходы к формированию состава документов по стандартизации в области технических требований к электронной продукции, процессам ее разработки и производства.

Annotation: The article examines the existing challenges in the field of development, production, and supply of ECB to critical information infrastructure facilities. Under the current conditions, contradictions are identified and the urgent task of the need to develop an industry standardization system is proposed to resolve them. The features of the current stage of development, production and supply of electronic products for Russian consumers, creation of insurance stocks, as well as countering the supply of counterfeit products are revealed. Approaches to solving the formulated urgent problem are proposed. The approaches to the formation of the composition of standardization documents in the field of technical requirements for electronic products, their development and production processes are described.

Ключевые слова: стандартизация, система стандартизации, страховые запасы, информационная инфраструктура, квалифицированные поставщики, документы по стандартизации, контрафактная продукция.

Keywords: standardization, standardization system, insurance stocks, information infrastructure, qualified suppliers, standardization documents, counterfeit products.

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

Введение

Основополагающим нормативно-правовым актом в области стандартизации является Федеральный закон от 29.06.2015 № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Федеральный закон устанавливает правовые основы стандартизации в Российской Федерации, в том числе функционирования национальной системы стандартизации, и направлен на обеспечение проведения единой государственной политики в сфере стандартизации [1].

Стандартизация является одним из средств управления экономикой. Обеспечение стабильности выпуска электронной (радиоэлектронной) продукции и поддержание ее качества, также результат использования организациями системы соответствующего комплекса стандартов. Исходя из этого стандартизацию необходимо рассматривать как комплексный инструмент реализации эффективной промышленной политики и укрепления национальной инфраструктуры качества и импортозамещения радиоэлектронной отрасли.

Стратегия развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 января 2020 года № 20-р, предусматривает комплексное решение задач по девяти ключевым направлениям: «Научно-техническое развитие», «Средства производства», «Отраслевые стандарты», «Кадры», «Управление», «Кооперация», «Отраслевая информационная среда», «Рынки и продукция» и «Экономическая эффективность». При этом задачей направления «Отраслевые стандарты» определено обеспечение конкурентоспособности отрасли через инструменты технического и отраслевого регулирования.

Основная часть

Особенности современного этапа разработки, производства и поставок электронной продукции для российских потребителей

Ключевым документом в области развития системы стандартизации на сегодняшний день является план мероприятий («дорожная карта») развития стандартизации в Российской Федерации на период до 2027 года, который был утвержден поручением Заместителя Председателя Правительства Российской Федерации Д. Козака от 15 ноября 2019 года № ДК-П7-9914 [2].

Одними из целей данного документа формулируются как:

- сокращение времени «отклика» инфраструктуры национальной системы стандартизации на запросы бизнеса, в том числе с применением информационных технологий;
- обеспечение разработки теоретических основ стандартизации в условиях цифровой экономики;
- обеспечение перехода от директивного формирования ежегодной программы национальной стандартизации к распределённой модели программы национальной стандартизации.

Наряду с указанными стратегическими целями возникает необходимость решать тактические цели развития



Булгаков О.Ю. Подьяпольский С.Б. Ковганич Ю.В.

системы стандартизации, которые лежат в рамках общего направления, но являются одними из актуальных на сегодняшний момент.

В условиях современных реалий существенным образом изменяются возможности производства высокотехнологичных изделий электронной продукции и, в первую очередь, электронной компонентной базы (далее – ЭКБ).

К существенным вызовам в области разработки, производства, поставки ЭКБ [3, 4] в объекты критической информационной инфраструктуры следует отнести:

- многоуровневые пакеты санкций, одним из направлений которых является запрет на проведение аутсорсингового взаимодействия в режимах контрактного производства зарубежных передовых кремниевых фабрик с отечественными дизайн-центрами;
- запреты на поставку технологического оборудования и средств испытаний для производства электронной продукции;
- многократное возрастание потребностей в доверенной отечественной ЭКБ при запретах на поставку комплектующих и материалов для нее.

Большинством стран мира, осознающих важность развития электронной продукции для обеспечения технологического суверенитета, ведутся работы по созданию собственных микроэлектронных производств – Россия, США, Южная Корея, Китай, Япония, ЕС, Индия и т. д. Ввод микроэлектронных производств приведет к радикальному изменению ситуации на мировом рынке электронной продукции.

Использование принципов базовых технологических процессов и производств в режиме кремниевых фабрик. Подходы к созданию страховых запасов для потребителей отечественной ЭКБ

Современный подход к проектированию, разработке, производству (включая испытания) и поставке изделий полупроводниковой электроники (микросхемы интегральные и полупроводниковые приборы) [5] в рамках оптимизации бизнес-моделей имеет несколько направлений.

Традиционное направление предполагает организацию в едином управленческом цикле систему разработки, постановки на производство и отгрузки изделий. Этот вариант на данный момент характерен для крупных структур при наличии внутренней специализации по видам деятельности. В данном варианте построения производство может иметь «набор» технологических процессов применительно к изготовлению конкретного изделия или группы изделий,

входящих в одну серию. Этот способ производства может иметь варианты реализации с учетом возможностей системы контрактного производства вплоть до отдельных технологических процессов.

В международной и отечественной практике оптимизация развития компетенций, сокращения сроков появления новых продуктов на рынке, повышения степени промышленной безопасности и развития бизнеса, развитие систем автоматизированного проектирования сформировали новый подход к системе взаимодействия разработчика изделий и изготовителя.

На рынке появились организации, предлагающие услуги по изготовлению «полуфабрикатов» микросхем на основе стабильного базового технологического процесса, характеристики которого описаны в формализованном виде – правилах проектирования. Базовый процесс предназначен для изготовления широкой номенклатуры конструктивно подобных изделий, имеющих различные функциональные характеристики [5], с предоставлением правил проектирования, позволяющих реализовать (спроектировать) выполнение конкретного проекта заказчика.

При этом, принципиальной особенностью является принцип обеспечения контроля качества и поддержания стабильности такого производства. Он заключается в использовании специальных структур параметрического монитора, представляющего собой совокупность тестовых элементов (структур), предназначенных для мониторинга выходных характеристик технологического процесса в целом, при операционном контроле и (или) приёмке партий пластин. Такой подход исключает необходимость представления заказчиком комплекта тестов для контроля изготовленных на кремниевой фабрике бескорпусных микросхем. Наиболее яркий пример такой зарубежной компании – TSMC (Тайвань).

Решение задачи технологического суверенитета и, в целом, развития радиоэлектронной промышленности как основы совершенствования всех отраслей экономики, требует выявления проблем и противоречий, сдерживающих этот процесс. Стандартизация, как одна из составляющих развития отрасли, также требует постоянного мониторинга международной практики, отечественного опыта и обеспечение целей импортонезависимости, развития новых направлений и расширения номенклатурного ряда продукции, что приводит к противоречиям между действующими требованиями и процедурами проведения разработок и производства электронной продукции.

Примерами, подтверждающими вышесказанное, могут являться возникшие противоречия между:

- стандартными процедурами разработки, поставки на производства изделий микроэлектроники и объективно существующей системой контрактных производств, специализации предприятий в области проектирования и разработки (дизайн-центры) кремниевых фабрик;

- необходимостью обеспечения создания поставочных комплектов для серийных образцов электронной продукции на длительный период и необходимостью на тех

же производственных линиях освоения и выпуска новых групп изделий;

- недостаточной активностью бизнессообщества в области стандартизации и объемами спроса на электронную продукцию отечественного производства на российском рынке;

- другие противоречия.

Преодоление возникающих противоречий, на наш взгляд, возможно осуществить путём решения **актуальной научной задачи**, вербальная постановка которой может быть сформулирована следующим образом:

«На основе знаний существующей структуры и содержания нормативной документации в системе стандартизации радиоэлектронной отрасли (**g**), структуры управления её развитием, с учётом целевых требований к построению и их совершенствованию, разработать научно-методический подход к обоснованию и предложению разработки нормативной документации в отраслевой системе стандартизации на электронную продукцию и процессам её производства (**W**), обеспечивающих формирование технологической независимости и суверенитета электронной продукции, для включения в модернизацию отраслевой системы стандартов на электронную продукцию в соответствии с существующими и перспективными международными требованиями к продукции, технологиям, организационным и информационным процессам».

В общем случае, основываясь на подходах, изложенных в [6], формальная постановка задачи по разработке научно-методического подхода к обоснованию и предложению разработки нормативной документации для включения её в совершенствующуюся отраслевую систему стандартизации на электронную продукцию в соответствии с существующими и перспективными международными требованиями к продукции, технологиям, организационным процессам, может быть сформулирована следующим образом:

«Для заданных исходных данных и целевых показателей, определяющих требования к электронной продукции, **I {T, Q, P, L, M, S, K, N}** разработать научно-методический аппарат (подход) обоснования необходимого состава нормативных документов **g***, сутью содержания которой, позволяет обеспечить технологическую независимость, суверенитет, страховые запасы ЭКБ для производства электронной продукции и процессов её производства, а также соответствующие рекомендации должностным лицам **r** по их применению, при которых:

$$W(I, g^*, r) \geq W_n \gg,$$

где **T** – требования к целевым показателям производства электронной продукции;

Q – технология производства электронной продукции;

P – машиностроение (система обеспечения средства производства);

L – материалы для изготовления электронной продукции;

M – система метрологического обеспечения;

S – действующие стандарты в электронной отрасли;
K – система обеспечения качества ЭКБ в электронной отрасли;

N – нормативно-техническая документация;

g – существующее структура и состояние нормативной документации в системе стандартизации электронной отрасли;

g* – рациональная структура и состояние нормативной документации в системе стандартизации электронной отрасли;

r – рекомендации должностным лицам по разработке, внедрению и применению нормативной документации;

W – отраслевая система стандартизации на электронную продукцию и процессам ее производства в соответствии с существующими и перспективными международными требованиями к продукции, технологиям, организационным процессам;

W_n – необходимая отраслевая система стандартизации на электронную продукцию и процессам ее производства в соответствии с существующими и перспективными международными требованиями к продукции, технологиям, организационным процессам.

В прикладном плане одним из необходимых действий, в решении описанной выше задачи, на наш взгляд может быть формирование страховых запасов полупроводниковой ЭКБ на весь период жизненного цикла радиоэлектронной аппаратуры (далее – РЭА).

Оптимальным подходом к формированию страховых запасов полупроводниковой ЭКБ с точки зрения технической гибкости и экономической эффективности является длительное хранение интегральных микросхем и полупроводниковых приборов на уровне пластин и кристаллов. Однако такой подход требует уточнения технических требований, установленных в документах по стандартизации полупроводниковой электронной компонентной базы в части условий, средств и сроков хранения пластин и кристаллов.

Разработка и внедрение такого стандарта позволит устранить одно из выше указанных противоречий между задачами по совершенствованию и развитию новых групп продукции и обеспечением для потребителей выпуск серийной РЭА. Субъектами использования такого документа будут изготовители интегральных микросхем и полупроводниковых приборов в рамках изготовления изделий более высокого конструктивного уровня (гибридных микросхем, электронных модулей и РЭА).

По данным направлениям в разработке находятся документы по стандартизации, включая проекты национальных стандартов в части электронной компонентной базы:

Пластины с кристаллами заказанных элементов. Общие технические условия;

Порядок выполнения работ при взаимодействии разработчика микросхем и изготовителя пластин с кристаллами заказанных элементов;

Микросхемы интегральные. Приборы полупроводниковые. Требования к порядку, условиям и длительности хранения кристаллов.

Обеспечения РЭА электронной продукцией надлежащего качества

Варианты распространения электронной продукции, по которым осуществляется комплектование производства РЭА [7], можно подразделять на:

- прямые поставки от производителей электронной продукции, выпускающих её под собственной маркой;
- официальных представителей, дистрибьюторов;
- контрактных производителей электронной продукции;
- закупочные организации.

Официальные дистрибьюторы работают со стороны поставщика либо в варианте их выносного склада, либо осуществляют поставки со склада изготовителя [3, 4], при этом они отличаются наличием юридически оформленных представительских документов по возможностям поставок, распространения гарантий качества изготовителей и обязательствам сторон, в т. ч. по представлению изготовителю данных по конечному пользователю.

Ключевая функция закупочных организаций, обеспечивающих поставку электронной продукции для комплектации производства РЭА – максимально полное обеспечение производства необходимой электронной продукцией. Такие организации берут на себя значительную часть работы отделов снабжения предприятий, производящих РЭА. Как правило, перед ними ставят задачи консолидировать закупки, оптимизировать логистику, оценить возможности и сроки поставки всей номенклатуры, подтвердить качество поставляемой электронной продукции, а также обеспечить таможенные процедуры и, при необходимости, организовать работы по подтверждению соответствия в рамках требований технических регламентов таможенного союза. Задачи и процедуры действий квалифицированных поставщиков ЭКБ в рамках Положений таможенного союза будут проанализированы в отдельной статье. Порядок применения изделий иностранного производства определён в соответствующих нормативно-правовых актах.

При закупках электронной продукции иностранного производства далеко не всегда имеется возможность осуществлять её тестирование по всем параметрам.

В настоящее время в рамках регламентов таможенного союза ЭКБ (за исключением отдельных групп) не подлежит обязательной сертификации. Для обеспечения подтверждения качества ввозимой по принципам параллельного импорта на территорию Российской Федерации продукции необходима организация системных работ по подтверждению отсутствия признаков контрафакта и соответствия характеристик изделий заявленных характеристик фирмы изготовителя.

Создание и реализация эффективного механизма противодействия обороту контрафактной электронной продукции являются неотъемлемой частью государственной политики в сфере обеспечения национальной безопасности и социально-экономического развития Российской Федерации.

В области нормативного регулирования вопросам снижения рисков использования продукции, относящейся

к продукции не подтвержденного качества и происхождения, уделено существенное внимание.

В период с 2012 года по настоящее время разработано и введено в действие 8 национальных стандартов и 7 технических документов, относящихся к контрафактной продукции.

В настоящее время действуют национальные стандарты, устанавливающие терминологию и общие требования в системе защиты от фальсификации и контрафакта. Отдельные документы распространяются на авиационно-космическую и оборонную промышленности, где установлены требования по методическому подходу к обеспечению подтверждения соответствия продукции и требования к дистрибьюторам.

Анализ действующих документов в области системы защиты от фальсификации и контрафакта свидетельствует об отсутствии нормативно определенных методических подходов к порядку и участникам проведения работ по выявлению признаков контрафакта. Также не установлены конкретные требования к организациям-поставщикам электронной компонентной базы [3, 4], в том числе, в области обеспечения регистрации (внутренней прослеживаемости) закупаемой продукции, регламентов хранения и отгрузки, требований к переупаковке, проверки на отсутствие признаков контрафакта и т. д.

В связи с чем, в условиях современных реалий и принятых Правительством Российской Федерации нормативно-правовых актов в области применения параллельного импорта и Стратегии по противодействию незаконного оборота промышленной продукции, является актуальной задачей разработка национальных стандартов, устанавливающих:

- требования к поставщикам электронной компонентной базы;
- исследования по определению признаков контрафактного происхождения.

Заключение

Таким образом, подход к формированию состава документов по стандартизации в области технических требований к электронной продукции, процессам ее разработки и производства, изложенный в статье, направлен на сведение к минимуму возникшего противоречия между необходимостью совершенствования производства электронной продукции в направлении импортозамещения, включая развитие новых компетенций и обеспечение поддержания серийных изготовителей РЭА комплектующими на длительный период. Предлагаемый комплект национальных стандартов направлен на решение поставленной научной задачи.

Литература

1. Федеральный закон от 29.06.2015 № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации».
2. Поручение Заместителя Председателя Правительства Российской Федерации Д. Козака от 15.11.2019 № ДК-П7-9914.
3. Подьяпольский С.Б., Булгаков О.Ю., Осипова Е.М. О некоторых аспектах распространения электронной продукции в Российской Федерации, «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения», 2022, № 3 (7), стр. 4-7.
4. Булгаков О.Ю., Подьяпольский С.Б. Одна из методик оценки качества функционирования СМК поставщиков ЭКБ, «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения», 2021, № 3, стр. 18.
5. Потапкин В.Н., Купцова И.А. Концепция развития сложно-функциональных блоков. «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения», 2021, № 8, стр. 2.
6. Ларин А.А. Теоретические основы управления. ч. 1. Процессы и системы управления. М.: ВАД, 1995. 248 с.
7. Подьяпольский Б.С., Серадинов А.П. Противодействие поставкам контрафактной продукции. Методы проверки электронной компонентной базы на отсутствие признаков контрафакта, «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения», 2021, № 2, стр. 35.

Уважаемые читатели!

Открыта подписка на научно-технический журнал
«Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения»

Учредители научно-технического журнала ждут Ваших обращений по адресам:



ВНИИР
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

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



АНО «ЦЕНТР СЕРТИФИКАЦИИ, ОБУЧЕНИЯ И КОНСАЛТИНГА
«ЭЛЕКТРОНСЕРТИФИКА»

141008, Московская область, г.о. Мытищи,
г. Мытищи, ул. Матросова, д. 8
+7 (495) 055-05-99;
e-mail: elsert@bk.ru, сайт: elsert.ru





ВЧ и СВЧ ПОГЛОТИТЕЛИ РЕЗИСТИВНЫЕ (аттенюаторы)

Входная импульсная мощность **до 10 000 Вт**

Двунаправленные

Модели с активным охлаждением

Возможность выбора типа соединителей

SMA, N или тип III



Оптимальное решение для задач измерения

АО «НПО «ЭРКОН»,
г. Нижний Новгород
ул. Нартова, 6



+7 (831) 202-25-52
gr@erkon-nn.com
www.erkon-nn.ru



ВНИИР
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ



АНО «ЦЕНТР СЕРТИФИКАЦИИ, ОБУЧЕНИЯ И КОНСАЛТИНГА
«ЭЛЕКТРОНСЕРТИФИКА»

2025 С Новым годом!

Уважаемые коллеги, дорогие друзья!
Поздравляем Вас с Новым годом!
Желаем новых стремлений и открытий,
удачных стартов и больших побед,
успешных результатов в делах и перспектив.
Пусть этот год станет для всех нас
Добрым и счастливым!

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

