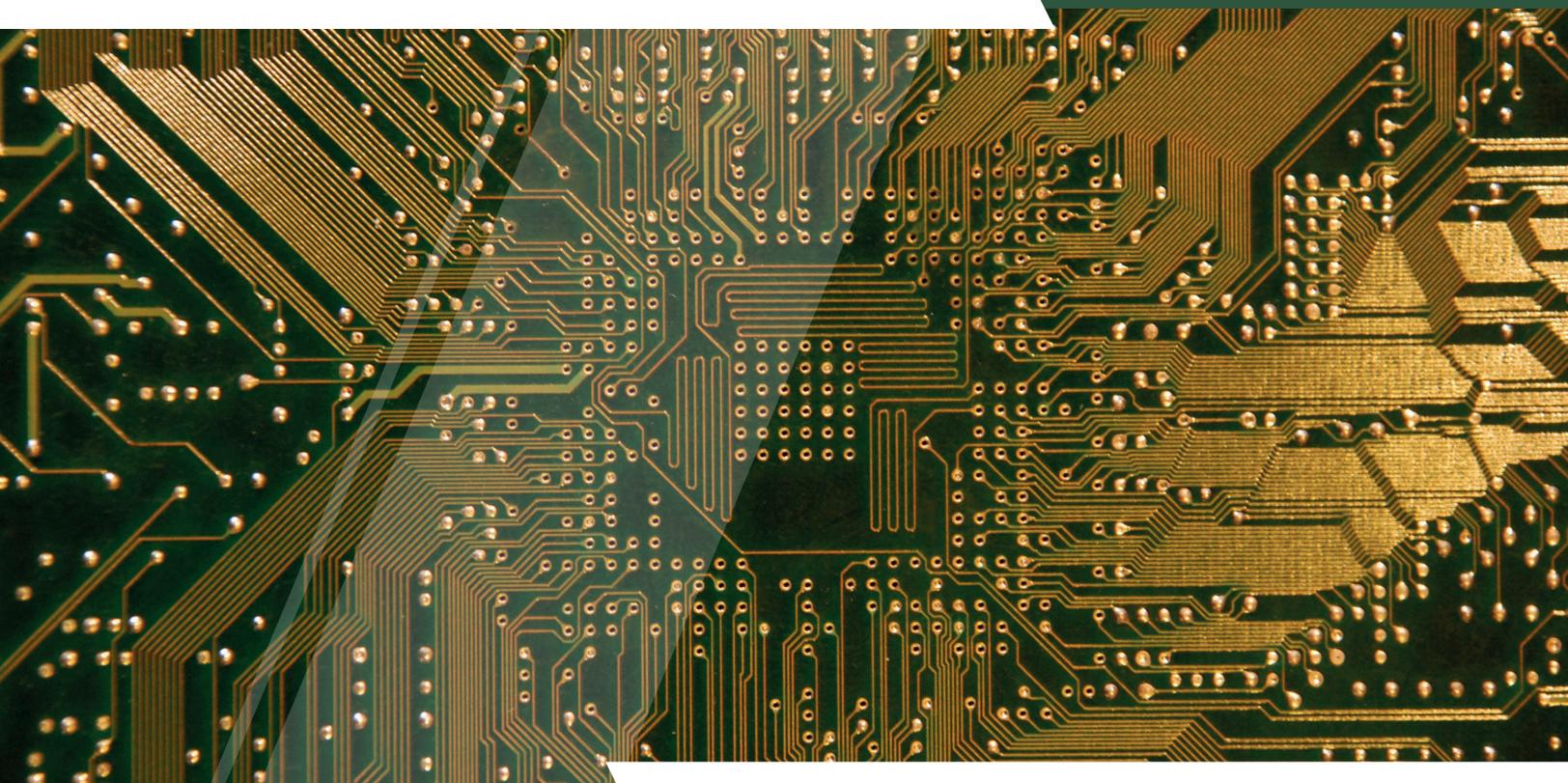


1 (17) | РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: 2025 | ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТЬ

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ





УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

7 мая 1895 года русский физик

Александр Степанович ПОПОВ

**продемонстрировал миру первый прибор для связи на
расстоянии – и сегодня эта дата считается**

Днём рождения радио!

**Поздравляю Вас с профессиональным праздником
– Днём радио, праздником работников всех отраслей связи!**

Пусть Вами достигаются все намеченные цели!

**Успехов нам всем в решении задач,
стоящих перед радиоэлектронной отраслью России !!!**

**С уважением,
Генеральный директор ФГБУ «ВНИИР», И.С. Иванов**

РО Пир 1(17)/2025 (Основан в 2021 году)

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

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

Статьи журнала размещаются на сайте журнала, сайте РНЖ, сайте научной электронной библиотеки и включаются в национальную информационно-аналитическую систему РИНЦ.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

- В.В. Шпак**, кандидат экономических наук
- Г.Я. Красников**, Президент РАН
- И.С. Иванов**, генеральный директор ФГБУ «ВНИИР»
- С.И. Боков**, доктор экономических наук
- А.В. Брыкин**, доктор экономических наук
- В.Л. Гладышевский**, доктор экономических наук
- Н.В. Завьялов**, член-корреспондент РАН
- В.М. Исаев**, доктор технических наук
- Е.Г. Комаров**, доктор технических наук
- А.А. Рахманов**, доктор технических наук
- А.С. Сигов**, академик РАН
- В.Б. Стешенко**, кандидат технических наук
- В.А. Телец**, доктор технических наук
- А.В. Трусов**, доктор технических наук

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

Заместители главного редактора:

- С.Б. Подъяпольский**, кандидат технических наук
- С.С. Милосердов**, кандидат технических наук

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

- А.С. Афанасьев**, кандидат технических наук
- В.В. Быканов**, кандидат технических наук
- З.М. Гальперина**, доктор экономических наук
- П.С. Желтухин**, доктор технических наук
- И.Н. Кабанов**, доктор технических наук
- Р.Г. Левин**, кандидат физико-математических наук
- Ю.В. Рубцов**, генеральный директор АО «ЦКБ «Дейтон»
- Д.А. Руденко**, кандидат военных наук
- Т.Н. Серазетдинов**, ген. директор АО «Авиаприбор»
- В.А. Трусов**, доктор технических наук
- Л.А. Фёдорова**, академик Академии проблем качества
- В.Н. Храменков**, доктор технических наук

РЕДАКЦИЯ:

- В.А. Сахаров**, ответственный редактор
- В.В. Малышева**, графический дизайнер
- Ю.А. Зайцева**, редактор-корректор
- О.Е. Николаева**, редактор-корректор

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

Отпечатано:

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

Сдано в набор 05.03.2025 г.

Подписано к печати 25.03.2025 г.

Тираж 350 экз.

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ

Боков С.И., Полиенко К.С., Юшков Я.Н.
Об оценке достаточности страховых и технологических запасов в производстве..... 2

Голубков В.А., Мельников С.Ю., Федоренко А.Г., Зотов Н.А. Энергетическая модель ускоренных испытаний транзисторов 6

Болдырев М.А., Лучкин А.Н., Афанасьева А.А.
Способ проведения ускоренных испытаний на безотказность литий-ионных аккумуляторов 9

Болдырев М.А., Скупяко Т.А. Основные проблемы, возникающие при изготовлении и применении кабельных сборок..... 12

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Трусов А.В., Мартыанов Д.С. Подходы к совершенствованию процессов разработки программного обеспечения для беспилотных летательных аппаратов 14

Рубцов Ю.В., Малышев В.Э., Назаренко А.А.
Определение дефектов на изделиях микроэлектроники в режиме реального времени при помощи сверхточной нейронной сети 18

КАЧЕСТВО И НАДЁЖНОСТЬ

Дормидошина Д.А. Компьютерное зрение в системах контроля качества продукции и связь с TQM и MES 21

Прокошева Д.А., Серадзинов А.П. Анализ газового состава среды подкорпусного пространства ЭКБ, оказывающего влияние на качество и надежность изделий (обзор информационных материалов)..... 28

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ

Храменков В.Н., Храменков А.В., Контроль выполнения обязательных метрологических требований к обеспечению единства измерений параметров и характеристик разрабатываемого технического объекта 32

ИНФОРМАЦИЯ

Козлов И.П., Круглый стол в области стандартизации на выставке – форум «ЭЛЕКТРОНИКА РОССИИ» 36

Перечень научных статей, опубликованных в 2024 году 38

ОБ ОЦЕНКЕ ДОСТАТОЧНОСТИ СТРАХОВЫХ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАПАСОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ

ON THE ASSESSMENT OF THE ADEQUACY OF SAFETY
AND TECHNOLOGICAL RESERVES IN PRODUCTION

Боков С.И., заслуженный деятель науки РФ, д. э. н., профессор, главный научный сотрудник ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, заведующий базовой кафедры «Менеджмент в сфере систем вооружений» РТУ-МИРЭА, член-корреспондент РАН и АВН, **Полиенко К.С.**, старший научный сотрудник центра военной электроники и электротехники, ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, +7 (917) 545-29-10, polienkoks228@gmail.com; **Юшков Я.Н.**, старший офицер отдела, Управление перспективных межвидовых исследований и специальных проектов Минобороны России

Bokov S.I., Honored Scientist of the Russian Federation, Doctor of Economics, Professor, Chief Researcher at the 46th Central Research Institute of the Russian Ministry of Defense, Head of the Basic Department of Weapons Systems Management at RTU-MIREA, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences and AVN, **Polienko K.S.**, Senior researcher of the Center for Military Electronics and Electrical engineering, FSBI "46 Central Research Institute" of the Ministry of Defense of Russia, +7 (917) 545-29-10, polienkoks228@gmail.com; **Ushkov Y.N.**, Senior officer of the Directorate of Advanced Intel-Service Research and Special Projects of the Ministry of Defense of Russia

Аннотация. В данной статье рассматривается научная задача развития научно-методического аппарата анализа и оценки применимости продукции иностранного и отечественного производства для формирования управленческого решения по определению достаточности объёма страховых и технологических запасов для радиоэлектронной аппаратуры военного и двойного назначения в условиях финансовых ограничений. Применение разработанного научно-методического аппарата позволит сократить риски срыва реализации государственных контрактов в части предоставления услуг, поставок, хранения и применения радиоэлектронной экосистемы в рамках обеспечения технологического лидерства.

Annotation. This article addresses the scientific challenge of developing a scientific and methodological framework for analyzing and evaluating the applicability of foreign and domestic products to inform managerial decisions regarding the sufficiency of insurance and technological reserves for military and dual-use electronic equipment under financial constraints. The application of the developed scientific and methodological framework will help mitigate the risks of disrupting the implementation of government contracts related to services, supplies, storage, and use of the electronic ecosystem, thereby supporting technological leadership.

Ключевые слова: страховой запас, технологический запас, оптимальный объём закупки продукции, радиоэлектронная аппаратура, система управления развитием электронной компонентной базы.

Keywords: insurance reserve, technological reserve, optimal volume, electronic equipment, management system for the development of the electronic component base.

Научная специальность: 2.3.2 — «Вычислительные системы и их элементы», 2.3.1 — «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика», 6.3.2 — «Военная экономика, оборонно-промышленный потенциал».

Введение

В современном мире, где геополитические динамики и технологические вызовы непрерывно эволюционируют, а перспективы санкционной политики недружественных стран несут эскалационный характер, с учетом существующих технологических возможностей отечественных предприятий оборонно-промышленного комплекса, возникает необходимость ограниченного применения и обеспечение технологического лидерства производственных мощностей радиоэлектронной экосистемы. При этом остро стоит вопрос обеспечения технологической независимости и технологического лидерства Российской Федерации при создании изделий для критической инфраструктуры, основными из которых является продукция военного и двойного назначения. Под технологическим лидерством подразумевается способность государства возглавить и стимулировать инновационные мероприятия радиоэлектронной экосистемы,

а также создать возможности для самообеспечения и взаимодействия систем оборонно-промышленного комплекса и гражданского производства.

В соответствии с порядком применения продукции иностранного производства и обеспечения технологической независимости Российской Федерации от использования такой продукции в образцах вооружения, военной и специ-



Боков С.И.



Полиенко К.С.



Юшков Я.Н.

альной техники под технологической независимостью понимается способность Российской Федерации создавать, производить и закупать в необходимых количествах современные изделия вооружения, военной и специальной техники, отвечающие характеру и масштабам внешних угроз, а также обеспечение технологической независимости – способности поддерживать их в постоянной готовности к применению по назначению независимо от состояния поставок продукции иностранного производства [1].

Основная часть

В современных условиях технологическая независимость и технологическое лидерство являются составными частями стратегии развития Государственной политикой в области науки и техники и включают в себя, в том числе, кадровую политику (увеличение числа инженерных и технических специалистов), научную политику (определяет приоритетные направления исследований и прикладных программ), развитие технологического приборостроения и многое другое [2].

В сфере технологического лидерства к основным направлениям обеспечения технологической независимости относятся:

- а) разработка и производство полных аналогов продукции иностранного производства;
- б) разработка и производство российской продукции на основе унификации применяемой в составе радиоэлектронной аппаратуры (далее – РЭА) продукции иностранного производства и анализа основных направлений развития РЭА;
- в) создание технологических запасов продукции иностранного производства в необходимых объемах;
- г) создание страховых запасов продукции иностранного производства в необходимых объемах.

Под технологическим запасом понимается запас продукции иностранного производства, создаваемый для проведения испытаний, проведения комплекса мероприятий по защите информации, включающего в себя в том числе специальные исследования, специальные проверки, контроль отсутствия уязвимостей и недеklarированных возможностей продукции иностранного производства на соответствие требованиям, определяемым федеральными органами исполнительной власти и государственными корпорациями, являющимися государственными заказчиками государственного заказа (далее – государственные заказчики), и федеральными органами исполнительной власти, уполномоченными в области обеспечения безопасности, противодействия иностранным техническим разведкам и технической защиты информации, а также для использования в процессе разработки, модернизации, производства, сервисного обслуживания, ремонта и продления назначенного ресурса изделий военной техники (далее – ВТ) в рамках выполняемых соответствующих государственных контрактов.

Задачи по выбору направления (направлений) обеспечения технологической независимости и создания основы для технологического лидерства, указанные в подпунктах «а» и «б», возложены на Министерство промышленности

и торговли Российской Федерации и должны определяться совместно с руководителями приоритетных технологических направлений и генеральными конструкторами по созданию вооружения на основе анализа сводной номенклатуры продукции иностранного производства, применяемой при разработке, модернизации, производстве, эксплуатации, сервисном обслуживании, ремонте и продлению назначенного ресурса изделий ВТ.

Реализация мероприятий по созданию необходимых, неснижаемых объемов страховых и технологических запасов (далее – С и ТЗ) продукции иностранного и отечественного производства должна осуществляться в порядке, определяемом государственными заказчиками соответствующих изделий ВТ.

Ответственным за создание необходимых объемов технологических и/или страховых запасов продукции является головной исполнитель поставок продукции по государственному заказу или исполнитель, участвующий в поставках продукции по государственному заказу (далее – головной исполнитель (исполнитель)) в рамках выполняемых им государственных контрактов на разработку, модернизацию, производство, сервисное обслуживание, ремонт и продление назначенного ресурса изделий ВТ, а также указанных работ, проводимых в инициативном порядке.

В ходе исследований группой авторов решается научная задача и предлагается рынку разработка методики оценки применимости продукции для формирования достаточного и неснижаемого объема С и ТЗ продукции для радиоэлектронной аппаратуры военного и двойного назначения на примере применения электронной компонентной базы (далее – ЭКБ).

Для оценки эффективности создания и управления С и ТЗ целесообразно выделить ряд критериев, которые позволят избежать срывов производства при недостаточной закупке продукции предприятиями промышленности, а также избыточного накопления неиспользуемой продукции и нерациональном расходовании средств, которые могут быть использованы для закупки более приоритетной продукции.

В первую очередь следует учитывать, что производственный процесс является непрерывным, в то время как поставка комплектующих осуществляется периодически. Для обеспечения непрерывности производства в промежутках между поставками и обеспечения неснижаемого уровня запасов комплектующих элементов и материалов необходимо формировать запасы на основании определенных принципов. Рассмотрим основные принципы, определяющие экономику разработки и производства.

Принцип оптимального объёма. Объем запасов продукции не может быть незначительным, поскольку это может привести к остановке производственного процесса, в то же время запасы не должны быть чрезмерно большими, поскольку принцип производственной достаточности с экономической точки зрения требует эффективного использования финансовых ресурсов. Избыточные запасы приводят к замораживанию капитала, который должен быть постоянно в обороте. Формирование запасов должно учитывать потребности в обеспечении выпуска всех изде-

лий предприятия и предусматривать возможные изменения производственного плана.

Принцип диверсификации. Предполагается наличие у изготовителя нескольких поставщиков для каждого типа изделий, что позволит снизить риски, связанные с возможным отказом одного из поставщиков или с изменением цен на импортируемые изделия, а также повысить устойчивость производства к внешним изменениям.

Принцип сбалансированности. Каждый запас предварительно оценивается в зависимости от своей важности и необходимости для производства изделий. Важно учесть сезонность, спрос на продукцию, длительность производственного цикла и т. д.

Принцип управления рисками. С и ТЗ продукции являются инвестициями и могут быть подвержены рискам, которыми необходимо уметь управлять. При этом могут использоваться методы прогнозирования, спроса, оценки вероятности возникновения различных рисков и их влияния на производственный процесс, методы анализа рисков, связанные с потенциальными проблемами в процессе поставки или производства и др.

Для оценки создаваемых запасов продукции на предприятиях-изготовителях РЭА требуется учесть все вышеперечисленные принципы их формирования с целью обеспечения максимально эффективного расходования бюджетных средств в рамках государственного заказа, а также обеспечения бесперебойной работы в целях создания и производства в необходимых количествах современных изделий ВТ, а также поддержания их в постоянной готовности к применению по назначению независимо от состояния поставок продукции.

Отсутствие запасов продукции может повлечь за собой увеличение логистических и финансовых рисков, связанных со сбоями в производственно-технологических циклах, неопределенностью поставок продукции, непредсказуемостью экономических аспектов и санкционных действий зарубежных стран и других непредвиденных обстоятельств (внезапно увеличенный спрос, задержка в поставках, проблемы с производством и т. д.). Запас продукции является резервом, регулируемым государственными заказчиками государственного заказа, создаваемым и используемым головными исполнителями (исполнителями) в рамках выполняемых им государственных контрактов на разработку, модернизацию, производство, сервисное обслуживание, ремонт и продление назначенного ресурса изделий ВТ, а также указанных работ, проводимых в инициативном порядке, в условиях возникающих рисков.

Таким образом, при разработке научно-методического аппарата анализа применения продукции иностранного производства (далее – ИП) в РЭА ВТ необходимо решить следующие задачи:

- определение оптимального объема создаваемого запаса продукции;
- определение уровня неснижаемой достаточности в обеспечении С и ТЗ;
- систематизация номенклатуры создаваемого страхового и технологического запаса продукции;
- определение типов продукции, в которых выявля-

ется наибольшая потребность в создании страховых и технологических запасов.

Также необходимо предусмотреть возможность прогнозирования направлений создания С и ТЗ продукции для планирования, формирования, обоснования и порядка реализации мероприятий государственного заказа, с учетом экономической неопределенности и дальнейшей эскалации санкций со стороны недружественных государств.

Как правило, при определении величины формируемого запаса продукции для РЭА используют инструментарий теории вероятности и математической статистики [3-7]. В ходе анализа методик создания оптимальных количеств запасов, а также информации о методах накопления продукции сделан вывод, что наиболее простым и обоснованным методом определения норм запасов является их расчет через среднее квадратическое отклонение (далее – СКО) от плановых величин с использованием формул (1) и (2):

$$V_{зан} = \sqrt{S_t \cdot T \cdot M^2 \cdot k}, \quad (1)$$

$$S_t = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(M - X_i)^2}{N}}, \quad (2)$$

где $V_{зан}$ – объем созданного технологического запаса;

S_t – СКО;

T – время пополнения запаса, дни;

M – средний объем расхода запаса;

X_i – объем расхода запаса в день;

N – количество дней рассматриваемого периода;

k – коэффициент отклонения, определяемый уровнем обеспеченности запаса (оптимальным принимается уровень в 95 % → $k=2$, для уровня в 97,5 % → $k=3$, а для уровня в 99 % → $k=4$).

При укрупненной оценке размер запаса продукции ИП может приниматься в размере 50 % от потребляемого количества электронной компонентной базы в отчетном периоде. Если для предприятия характерна сложная схема логистики поставок готовой продукции, либо запас формируется для уникальных изделий, то норма запасов может быть увеличена до 100 %.

Задача определения норм запасов решается предприятиями-головными исполнителями (исполнителями), вынужденно использующими в качестве покупных комплектов изделий ЭКБ, исходя из требований заказчика (сроки, объемы производства, поставок ВТ и т. д.) с учетом снижения влияния возможных рисков (санкционных, финансовых, технологических, логистических, производственных и т. д.) в плановый период [8-9].

В рамках военно-технического сопровождения создания ЭКБ военного назначения оценивается возможность своевременного обеспечения потребностей в ЭКБ ИП, применяемых при изготовлении отечественных изделий ВТ в отчетном периоде (год), исходя из следующих исходных данных:

перечень ($i = \overline{1, n}$) и количество (O_i) обеспечиваемых образцов ВТ в отчетном периоде (требования государственного оборонного заказа (ГОЗ) и государственного заказчика (ГЗ);

типы ($j = \overline{1, m}$) и количество (T_j) ЭКБ, применяемых в обеспечиваемом образце ВВСТ (T_{ij}) (информация от главных конструкторов (ГК) РЭА);
количество (E_j) ЭКБ по соответствующим типам ($j = \overline{1, m}$) для конкретного образца, имеющихся в наличии на предприятии-изготовителе образца ВТ (E_{ij}) – соз-

данный техзапас ЭКБ ИП (информация от предприятий-изготовителей РЭА).

Алгоритм оценки достаточности и неснижаемой объёма сформированных С и ТЗ продукции предприятиями-изготовителями РЭА представлен на рис. 1.

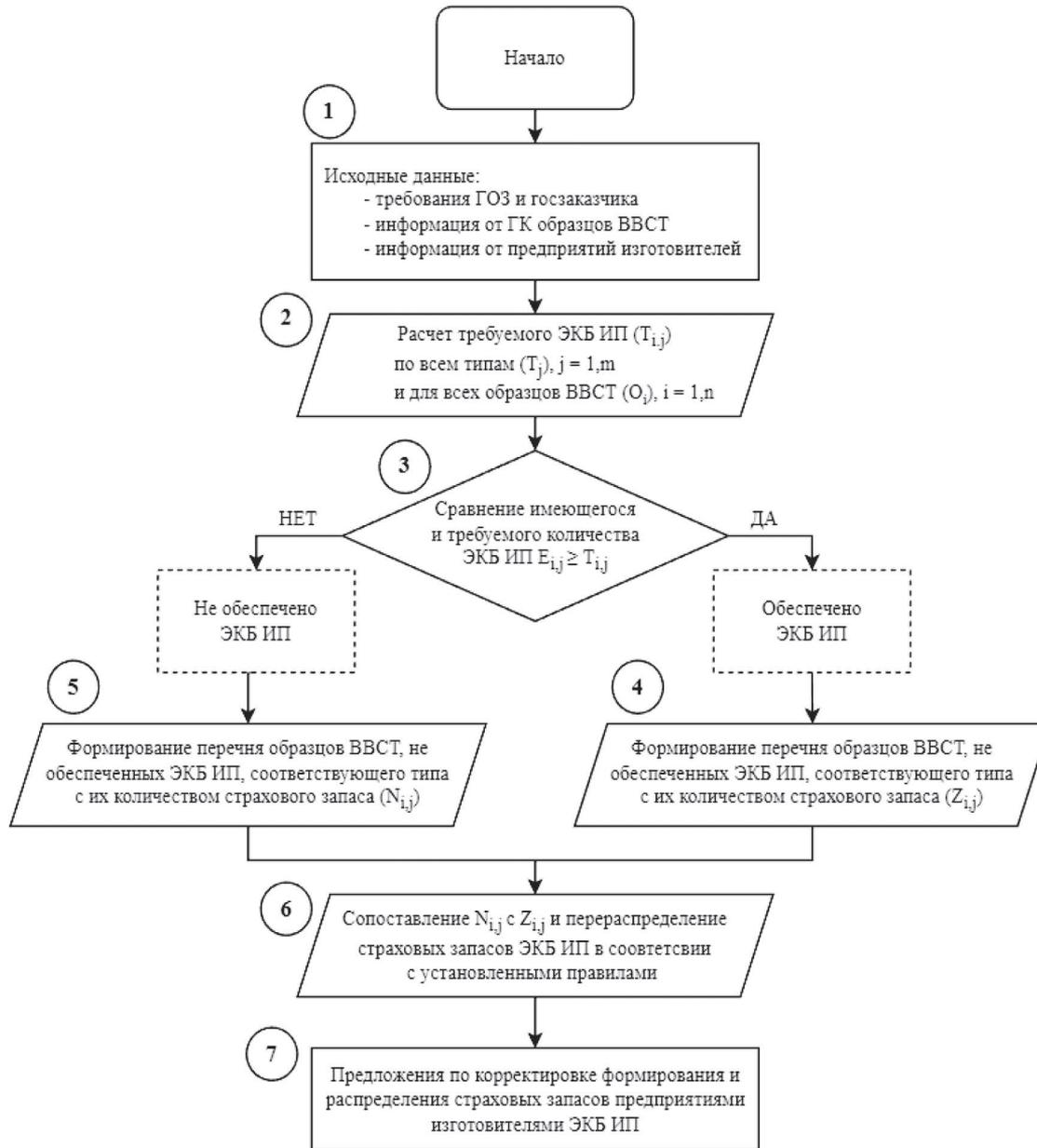


Рис. 1. Алгоритм оценки достаточности и неснижаемой объёма сформированных С и ТЗ продукции предприятиями-изготовителями РЭА

Заключение

Таким образом, предлагаемый научно-методический аппарат анализа применимости продукции ИП для формирования достаточного объёма С и ТЗ продукции отечественного и иностранного производства для РЭА военного и двойного назначения позволит обеспечить снижение технологической зависимости при создании и ремонте изделий ВТ и создаст предпосылки для технологического лидерства при осуществлении инвестиционных мероприятий, при этом послужит основой формирования механизма управленческого учета достаточности объёма С и ТЗ

продукции отечественного и иностранного производства, необходимого для создания и поддержания РЭА ВТ в технической готовности к применению и установит уровень его неснижаемости. При этом собранная статистическая информация о количестве создаваемой продукции иностранного производства позволит принимать эффективное управленческое решение при планировании развития производства отечественной электронной компонентной базы в составе РЭА.

Применение разработанного научно-методического аппарата позволит сократить риски срыва реализации государ-

ственных контрактов, обеспечит своевременное выполнения их сроков. Также следует отметить, что выполнение мероприятий по автоматизации и цифровизации системы создают предпосылки к обеспечению технологического лидерства и вносят дополнительную экономическую, технологическую и амортизационную эффективность.

Литература

1. Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».
2. Чернова В.Ю. «Методические вопросы оценки возможностей и перспектив импортозамещения на промышленных предприятиях», Москва 2020 г., 395 с.
3. Скоринская В.А. «Методы расчета объема страхового запаса с учетом значимости материальных ресурсов». – Минск: «Вестник БНТУ», № 5, 2007 г., с. 52-57.
4. Долгов А.П. «Теория запасов и логистический менеджмент: методология системной интеграции и принятия эффективных решений». – СПб: Издательство СПбГУЭФ, 2004 г., 272 с.
5. Зермати П. «Практика управления товарными запасами» / перевод с французского – М: Экономика, 1982 г., 120 с.
6. Лотоцкий В.А., Мандель А.С. «Модели и методы управления запасами». – М: Наука, 1991 г., 188 с.
7. Гурман В.Е. «Теория вероятностей и математическая статистика». – М: Финансы и статистика, 1998 г., 78 с.
8. Боков С.И., Сучков К.И., Фенюк Ю.М. «Необходимость в новых методах управления импортозамещением». – Журнал «Наноиндустрия», № S5-2 (102), 2020 г., С. 463-466.
9. Боков С.И., Чупринов А.А., Фенюк Ю.М. «Формирование требований к информационно - аналитической системе планирования и контроля реализации программы импортозамещения», Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2021. № 1. С. 16-23.

УДК 621.319.4

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ТРАНЗИСТОРОВ

ENERGY MODEL FOR ACCELERATED TESTING OF TRANSISTORS

Голубков В.А., к. т. н., доцент, **Мельников С.Ю.**, к. т. н., доцент, **Федоренко А.Г.**, к. т. н., доцент, СПбГУАП;
Зотов Н.А., заместитель директора, ЗАО «РЕОМ», +7 (921) 327-96-88, nzotov@reom.ru

Golubkov V.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, **Melnikov S.Yu.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, **Fedorenko A.G.** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, SPbSUAP;
Zotov N.A., associate Director, CJSC "REOM", +7 (921) 327-96-88, nzotov@reom.ru

Аннотация. Авторы исследуют ускоренные испытания транзисторов. В качестве форсирующего фактора используется температура. Получены аналитические выражения для расчета коэффициента ускорения.

Annotation. The authors investigate accelerated testing of transistors. Temperature is used as a forcing factor. Analytical expressions for the acceleration coefficient are obtained.

Ключевые слова: ускоренные испытания, коэффициент ускорения, энергия активации.

Keywords: accelerated tests, acceleration factor, activation energy.

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



Голубков В.А.



Мельников С.Ю.



Федоренко А.Г.



Зотов Н.А.

Введение

Ускоренные испытания (далее – УИ) являются эффективными средствами оценки надежности и качества электронных систем. Результаты УИ могут быть использованы при прогнозировании остаточного ресурса устройства. В связи с этим большое значение приобретает создание модели УИ, позволяющей определить коэффициент ускорения (K_y) и учитывающей влияние различных ускоряющих факторов, а также индивидуальные особенности объекта испытания.

Основная часть

Рассмотрим энергетическую модель УИ, в основе которой использовано понятие энергии активации процесса. Под энергией активации понимают минимальное значение энергии атомов молекул, электронов, достаточное для преодоления энергетического барьера, препятствующего течению процесса [1].

Применительно к УИ – это процессы старения и деградации в испытываемом объекте. При построении модели пользуемся уравнением Аррениуса (дифференциальная форма):

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{E_a}{RT^2}, \quad (1)$$

где T – температура;

K – константа скорости реакции;

E_a – энергия активации;

R – универсальная газовая постоянная [2].

Интегральная форма имеет вид:

$$K = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right),$$

где A – постоянная величина, называемая предэкспонентой, характеризует природу реагирующих веществ и вероятность их столкновения.

Эти соотношения устанавливают связь между скоростью течения процесса и энергией активации с учетом температуры, т. е. энергией, сообщаемой системе извне.

В работе [3] приводятся соотношения, описывающие скорость протекания процессов теплового старения радиоэлементов. Соотношения эти получены на основе уравнения Аррениуса. Авторы работы [4] отмечают, что термо- и электромагнитные факторы оказывают влияние на кинематические закономерности развития практически всех возможных процессов и явлений и поэтому могут рассматриваться как наиболее приемлемые ускоряющие воздействия. Большинство физико-химических процессов, связанных с отказами, термически активируемы [1].

Основным форсирующим фактором при УИ является повышенная температура устройства, которая определяется температурой окружающей среды и повышенной электрической нагрузкой [1, 4, 5, 6]. Сущность этих воздействий состоит в сообщении атомам, молекулам, электронам материала полупроводника дополнительной энергии, что приводит к ускорению процессов деградации, связанных с возникновением дефектов в нем.

Интенсивность отказов пропорциональна константе скорости реакции и поэтому может иметь вид по аналогии с уравнением Аррениуса в интегральной форме (2):

$$\lambda = \lambda_0 \exp\left(-\frac{E_a}{KT}\right), \quad (2)$$

где λ, λ_0 – интенсивности отказов.

Коэффициент ускорения определяется отношением интенсивностей отказов при УИ и в номинальном режиме:

$$K_y = \frac{\lambda_U}{\lambda_H}, \quad (3)$$

где K_y – коэффициент ускорения;

λ_U, λ_H – интенсивность отказов при УИ и в номинальном режиме.

В соответствии с уравнениями (2) и (3) математическое описание модели УИ с использованием в качестве ускоряющего воздействия повышенной температуры имеет вид [3]:

$$E_{a_i} \cdot K_y = K_0' \exp \beta_T \left(\frac{1}{T_H} - \frac{1}{T_U} \right), \quad (4)$$

где β_T – энергетический параметр;

T_H – температура объекта, работающего в номинальном режиме;

T_U – температура объекта, работающего в режиме УИ;

K_0' – коэффициент, равный отношению предэкспонент интенсивностей отказов при УИ и в номинальном режиме:

$$K_0' = \frac{\lambda_0(T_U)}{\lambda_0(T_H)}. \quad (5)$$

Если $\lambda_0(T_U) = \lambda_0(T_H)$, то (4) можно представить в виде:

$$K_y = \exp \beta_T \left(\frac{1}{T_H} - \frac{1}{T_U} \right). \quad (6)$$

Энергетический параметр β_T для полупроводниковых элементов определяется как:

$$\beta_T = \frac{E_a}{K}, \quad (7)$$

где K – постоянная Больцмана;

E_a – энергия активации.

Положительным моментом такой физико-энергетической модели является учет физических процессов деградации полупроводника, возможность определения коэффициентов ускорения в зависимости от режимов испытания и, соответственно, выбор режимов испытаний, при которых можно получить требуемый коэффициент ускорения.

Как видно из (7) величина энергетического фактора, определяющего коэффициент ускорения, зависит от энергии активации процесса.

Рассмотрим с физической точки зрения кинетику явлений, происходящих в материале полупроводника в процессе УИ. В ходе ускоренных испытаний (при воздействии повышенных температур или электрических воздействий) в кристалле полупроводника возникают разносторонние

дефекты, которые, в свою очередь, вызывают изменение параметров и свойств полупроводника, т. е. ведут к его деградации.

Энергия активации процесса образования дефектов зависит от их вида. Известно, что в реальном кристалле в зависимости от воздействия внешних факторов (температура, электрическое поле) могут возникать разнообразные дефекты:

- точечные дефекты,
- линейные дефекты,
- плоские дефекты (границы монокристалла, зерен, двойников),
- объемные дефекты – трещины, полости, включения другой фазы и т. д.

В настоящее время большинство исследований по физике твердого тела посвящено прямо или косвенно изучению дефектов в кристаллах, т. к. дефекты влияют практически на все свойства полупроводников. Мы остановимся здесь на рассмотрении точечных дефектов, которые возникают в кристалле в процессе УИ. Точечные дефекты – это густые узлы, атомы в междоузлиях, нарушения в правильности чередования атомов основного вещества, а также примеси посторонних атомов, которые также в зависимости от своих размеров могут располагаться и в узлах, и в междоузлиях. Если число точечных дефектов велико, то они начинают взаимодействовать друг с другом и образуют более или менее крупные комплексы. Концентрация точечных дефектов может колебаться в весьма широких пределах, и она весьма чувствительна к температуре.

Под влиянием электрического поля, температуры концентрация точечных дефектов меняется по экспоненциальному закону. По мере повышения температуры кристалла возрастает амплитуда тепловых колебаний атомов. Часть из них приобретает при этом настолько большую энергию, что атомы срываются из равновесных положений и переходят в междоузлие. Возможен и обратный процесс. Причем для образования атома в междоузлие требуется большая энергия, чем создание густого узла.

Суммарная энергия активации [7] этих процессов, т. е. энергия, необходимая для совершения акта перехода атома из узла в междоузлие и обратно, может быть определена следующим образом:

$$E_{a\Sigma} = E_{a1} + E_{a2}, \quad (8)$$

где E_{a1} – энергия активации процесса перехода атома из узла в междоузлие;

E_{a2} – энергия активации обратного процесса или энергетическое образование густого узла.

Пусть число атомов данного сорта в единице объема полупроводника – N , из них n – перешли в междоузлие. Энергия активации этого процесса – E_{a1} . Тогда вероятность W_d того что еще один атом перейдет в междоузлие, будет пропорциональна числу атомов еще сидящих в узлах, т. е. $(N-n)$ и вероятности того, что один из этих атомов приобретает необходимую для такого перехода энергию, т. е. экспоненциальному множителю $e^{-\frac{E_{a1}}{KT}}$.

Таким образом

$$W_d = \alpha (N - n) e^{-\frac{E_{a1}}{KT}}, \quad (9)$$

где α – постоянный коэффициент.

Вероятность обратного процесса, т. е. возвращение атома в пустой узел W_p , будет пропорциональна числу атомов в междоузлии n и числу пустых узлов, точнее, тому, что атом в междоузлии «наткнется» на пустой узел:

$$W_p = \beta n \frac{n}{N}, \quad (10)$$

где β – постоянный коэффициент.

Тогда скорость процесса образования дефектов:

$$\frac{dn}{dt} = \alpha (N - n) e^{-\frac{E_{a1}}{KT}} - \beta n^2. \quad (11)$$

При равновесии, когда вероятности обоих процессов равны и, полагая $n \ll N$, получаем:

$$\frac{dn}{dt} = 0, \quad (12)$$

здесь $\sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} N = \sqrt{NN_1}$, или $\frac{\alpha}{\beta} = \frac{N_1^*}{N}$,

где N_1^* – общее число междоузлий, в которых могут разместиться n перешедших в них ионов.

Концентрация пустых узлов:

$$E_{a1} \cdot n_1 = \sqrt{NN_1} e^{-\frac{E_{a1}}{KT}}. \quad (13)$$

Отношение:

$$\frac{n_1}{n} \approx e^{-\frac{E_{a2} - E_{a1}}{KT}}. \quad (14),$$

Для E_{a1} и $E_{a2} \approx 1$ эВ разность их порядка приблизительно несколько десятков эВ, и т. к. $KT \approx 0,03$ эВ, то

$$\frac{n_1}{n_2} = e^{\pm 10}.$$

Эта оценка показывает, что маловероятно, что число дефектов обоих сортов будет одного и того же порядка. Так что обычно имеет место один из них.

Заключение

Получены аналитические выражения для коэффициента ускорения при форсированных испытаниях с помощью температурного фактора. Проанализированы точечные дефекты структуры, которые, в свою очередь, вызывают изменение параметров и свойств полупроводника, ведут к деградации и сокращению ресурса его работы. Доказано, что при повышении температуры появляются дефекты структуры, которые проявляются либо в виде «густых узлов», либо «атомов в междоузлиях». Одновременное их появление маловероятно.

Литература.

1. Никулин С.М.: «Надежность элементов радиоэлектронной аппаратуры», М., Энергия, 1979 г.

2. Ормонт Б.Ф.: «Введение в физическую химию и кристаллографию полупроводников», М., Высшая школа, 1968, 487 с.
3. Груничев А.С., Веденеев Ю.З., Елкин В.М.: «Надежность электрорадиоизделий при хранении», М. Энергоатомиздат, 1983, 160 с.
4. Под редакцией Данилина М.С.: «Обеспечение качества РЭА методами диагностики и прогнозирования», М., Издательство стандартов, 1983, 198 с.
5. Под редакцией Маслова А.А.: «Надежность полупроводниковых устройств», М., издательство иностранная литература, 1963, 426 с.
6. Стильбанс Л.С.: «Физика полупроводников», М., Советское радио, 1967 г.
7. Дульский Г.И., Старостин С.В., Французов С.С.: «Экспресс-метод определения коэффициента ускорения и энергии активации при оценке соответствия изделий электронной компонентной базы требованиям надежности» // Мытищи, ФГБУ «ВНИИР», Научно-технический журнал «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и решения». - 2024. - № 1 (13). - С. 22-27.

УДК 621.3

СПОСОБ ПРОВЕДЕНИЯ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА БЕЗОТКАЗНОСТЬ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

METHOD FOR CONDUCTING ACCELERATED RELIABILITY TESTS OF LITHIUM-ION BATTERIES

Болдырев М.А., Лучкин А.Н., ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, +7 (495) 471-30-86, t.skupyako@yandex.ru;
Афанасьева А.А., студентка ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСИС», + 7 (985) 138-69-75, g2102648@edu.misis.ru

Boldyrev M.A., Luchkin A.N., должность, +7 (495) 471-30-86, FSBI "46 Central Research Institute" of the Ministry of Defense of Russia, t.skupyako@yandex.ru; **Afanasyeva A. A.**, student FGAOU VO "NITU "MISIS", + 7 (985) 138-69-75, g2102648@edu.misis.ru

Аннотация: в статье рассмотрен способ проведения ускоренных испытаний на безотказность литий-ионных аккумуляторов, основанный на формировании трендовой модели процесса деградации емкости.

Annotation: the article discusses a method for conducting accelerated reliability tests of lithium-ion batteries based on the formation of a trend model of the process of capacity degradation.

Ключевые слова: литий-ионный аккумулятор, ускоренные испытания, надежность, деградация емкости, приработка, циклы заряд-разряд, трендовая модель.

Keywords: lithium ion battery, accelerated testing, reliability, capacity degradation, running-in, charge-discharge cycles, trend model.

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

Введение

Литий-ионные аккумуляторы (далее – ЛИА) имеют высокие технические и эксплуатационные характеристики и в настоящее время являются одним из основных видов электрохимических источников энергии, находящихся широкое применение в различной технике и устройствах.

По данным Росстата и Федеральной таможенной службы объем рынка Российской Федерации в части ЛИА составляет не более 0,3 % от мирового. Отечественные предприятия не в полной мере способны обеспечить потребности рынка, поэтому основными поставщиками ЛИА в Российской Федерации, в том числе и для изделий спецтехники, являются иностранные производители [1].

Применение ЛИА в системах электроснабжения космических аппаратов, радиоэлектронной аппаратуре, автомобильной и специальной технике задает высокие требования к надежности ЛИА. В условиях зарубежных поставок остро встает вопрос подтверждения характери-



Болдырев М.А.



Лучкин А.Н.



Афанасьева А.А.

стик ЛИА, важнейшей из которых является ресурс (наработка до отказа), который может превышать 1000 циклов заряд-разряд.

Процесс подтверждения ресурса (наработки) ЛИА является длительным и дорогостоящим. В целях сокращения объема испытаний и связанных с этим затрат данную задачу целесообразно решать путем проведения ускоренных испытаний на безотказность.

Основная часть

Электрические характеристики ЛИА в процессе эксплуатации ухудшаются. Этот процесс обусловлен как внутренними физико-химическими процессами в структуре аккумуляторов (потеря запасов активного лития, анодных и катодных материалов, электролита, рост внутреннего сопротивления), так и внешними факторами (рабочие температуры, уровень заряда-разряда, токи заряда-разряда).

Параметром-критерием годности ЛИА, определяющим его работоспособность, является электрическая емкость. Типичная модель деградации емкости ЛИА в зависимости от количества выполненных циклов заряд-разряд и основные процессы, протекающие внутри ЛИА и являющиеся причиной деградации, представлены на рис. 1 [2].

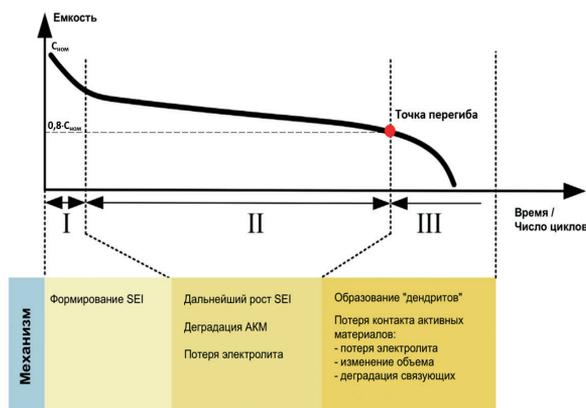


Рис. 1. Модель деградации емкости ЛИА

Процесс деградации емкости ЛИА условно делится на 3 этапа.

На этапе I происходит первичное формирование твердого межфазного пассивирующего слоя на электроде SEI (solid-electrolyte interphase). Этот этап так называемых формировочных циклов и кондиционирования является периодом приработки. Приработка характеризуется неустойчивым изменением значения емкости ЛИА.

На этапе II наблюдается практически линейное снижение емкости ЛИА, обусловленное постепенным протеканием внутренних физико-химических процессов. Этап является периодом нормальной эксплуатации и фактически определяет ресурс ЛИА.

Со сменой преобладающих механизмов деградации на кривой снижения емкости появляется «точка перегиба», после которого емкость начинает резко снижаться. С этого момента начинается период износа - заключительный этап функционирования ЛИА. Дальнейшая эксплуатация становится невозможной и ЛИА считается неисправным.

Принято считать, что «точка перегиба» образуется при снижении емкости аккумулятора до 80 % от номинальной, так как после потери 20 % первоначальной емкости происходит смена преобладающего механизма деградации ЛИА [3].

В стандартах, регламентирующих требования к электрическим параметрам, концом срока службы также считают точку жизненного цикла ЛИА, в котором значение

параметра емкости снижается до 80 % от первоначальных значений [4].

В соответствии с моделью деградации емкости ЛИА (рис. 1) задача подтверждения ресурса (наработки) ЛИА принимает следующий вид:

$$N_{\text{ПР}} + N_{\text{НЭ}} \geq T_{\gamma}, \quad (1)$$

$$SoH_{T_{\gamma}} = \frac{c(T_{\gamma})}{c_{\text{НОМ}}} \geq 80\%, \quad (2)$$

где $N_{\text{ПР}}$ – наработка приработки;
 $N_{\text{НЭ}}$ – наработка нормальной эксплуатации;
 T_{γ} – гамма-процентная наработка до отказа, указанная в технической документации на ЛИА;
 $SoH_{T_{\gamma}}$ – state of health, состояние работоспособности ЛИА в момент T_{γ} ;
 $c(T_{\gamma})$ – емкость в момент T_{γ} ;
 $c_{\text{НОМ}}$ – номинальное значение емкости.

Таким образом, подтверждение соответствия ЛИА осуществляется в два этапа:

1. Определить наработку $N_{\text{ПР}}$ и $N_{\text{НЭ}}$ и проверить выполнение условия (1).
2. Определить значение емкости $c(T_{\gamma})$ и проверить выполнение условия (2).

Предлагаемый авторами способ проведения ускоренных испытаний на безотказность ЛИА сводится к возможности ускоренного определения указанных параметров.

Так как изменения емкости ЛИА в период приработки носят непредсказуемый случайный характер, то наработку необходимо определять экспериментально путем проведения испытаний, в ходе которых с установленной периодичностью будет измеряться значение емкости ЛИА.

Испытания для определения продолжительности приработки следует проводить до тех пор, пока среднеквадратическое отклонение емкости не станет ниже определенного допустимого предела $\Delta_{\text{ДОП}}$, после которого начинает прослеживаться условно равномерная деградация емкости:

$$\sigma_c \leq \Delta_{\text{ДОП}}.$$

В этом случае будет соответствовать продолжительности проведенных испытаний.

Дальнейшие испытания будут относиться к периоду нормальной эксплуатации. Так как на данном этапе наблюдается практически линейное снижение емкости ЛИА до достижения «точки перегиба», то значение можно математически спрогнозировать, то есть построить поведенческую модель процесса деградации емкости - трендовую модель прогнозирования:

$$c(t) = A + B \cdot F(t), \quad (3)$$

где $c(t)$ – значение емкости в момент времени;
 t – наработка ЛИА в циклах заряд-разряд;
 $F(t)$ – базисная функция, описывающая характер деградации емкости;
 A, B – неизвестные коэффициенты модели, определяемые в ходе обработки результатов измерений, изменяющиеся от одного образца ЛИА к другому случайным образом [5].

При этом точность прогноза модели будет зависеть от количества проведенных измерений.

Таким образом, на этапе нормальной эксплуатации необходимо провести ряд испытаний, в количестве, необходимом для построения трендовой модели процесса деградации емкости ЛИА, имеющую заданную точность. Продолжительность этих испытаний определяет наработку периода испытаний с измерением емкости.

В соответствии с трендовой моделью прогнозирования емкости ЛИА (3) определяются значения емкости в момент достижения наработки до отказа (T_γ) и наработка нормальной эксплуатации $N_{НЭ}$:

$$c(T_\gamma) = A + B \cdot F(T_\gamma), \quad (4)$$

$$N_{НЭ} = f(c_{доп}), \quad (5)$$

где $F(T_\gamma)$ – значение базисной функции в момент достижения наработки до отказа;

$f(c_{доп})$ – функция, определяющая наработку в момент достижения допустимого значения емкости. Является обратной функцией к базисной функции $F(t)$.

Соотношения (4) и (5) применяют к каждому образцу испытываемой выборки ЛИА. Объем выборки, обеспечивающий оценку соответствия ЛИА требованиям к безотказности с заданным уровнем достоверности, определяют перед началом испытаний. Чем больше выборка, тем выше достоверность испытаний.

Статистическая обработка полученных данных позволит определить параметр γ – вероятность попадания прогнозного значения емкости ЛИА в доверительный интервал, ограниченный значением емкости $c_{доп}$ [6].

По результатам ускоренных испытаний и статистической обработки полученных данных можно сделать заключение о соответствии ЛИА требованиям к безотказности. Изделие соответствует требованиям, если одновременно выполняются следующие условия:

при испытаниях отсутствовали отказы ЛИА;

рассчитанное по результатам испытаний значение вероятности γ превышает требуемое значение (обычно не менее 95 %) при гамма-процентной наработке до отказа.

Коэффициент ускорения испытаний K_γ при этом составит:

$$K_\gamma = \frac{T_\gamma}{N_{НЭ} + N_{КИСП}},$$

где $N_{КИСП}$ – наработка контрольных испытаний.

Предложенный способ был реализован в виде методики ускоренных испытаний на безотказность ЛИА и апро-

бирова на результатах экспериментальных исследований, проведенных ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России [7]. Была подтверждена его применимость для ЛИА различных электрохимических систем.

Заключение

Способ проведения ускоренных испытаний на безотказность ЛИА сводится к поиску и формированию трендовой модели процесса деградации емкости ЛИА, прогнозированию значений емкости на момент наработки до отказа и статистической обработке полученных значений. Апробация способа на ЛИА различных электрохимических систем показала его применимость. По мнению авторов освоение и развитие данного метода позволит сократить временные и финансовые затраты, необходимые для подтверждения ресурса ЛИА, поставляемых как зарубежными, так и отечественными производителями.

Литература

1. Иткис Д. Безопасность литий-ионных ХИТ и «дорожная карта» Правительства Российской Федерации «Системы накопления электроэнергии», Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова, 2024.
2. Han Xuebing, et al. A review on the key issues of the lithium ion battery degradation among the whole life cycle, eTransportation, 2019, volume 1, 100005.
3. Инженерная записка. «Технический облик АБ для ЦМ и БМ орбитальной станции КК РОС», М.: МФТИ, Физтех, 2023.
4. ГОСТ Р 59846-2021. «Аккумуляторы и аккумуляторные батареи литий-ионные железофосфатные. Технические требования».
5. Методические рекомендации по разработке методик ускоренных испытаний на безотказность и сохранность изделий электронной компонентной базы военного назначения, М.: ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, 2023.
6. ГОСТ Р 50779.21-2004. «Статистические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение».
7. НТО. «Исследования по разработке методов ускоренных испытаний на надежность литий-ионных аккумуляторов», М.: ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, 2021.

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ
И ПРИМЕНЕНИИ КАБЕЛЬНЫХ СБОРОК

THE MAIN PROBLEMS ENCOUNTERED IN THE MANUFACTURE
AND APPLICATION OF CABLE ASSEMBLIES

Болдырев М.А., Скупяко Т.А., ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, +7 (495) 471-30-86, t.skupyako@yandex.ru

Boldyrev M.A., Skupyako T.A., +7 (495) 471-30-86, FSBI "46 Central Research Institute" of the Ministry of Defense of Russia, t.skupyako@yandex.ru

Аннотация: в статье рассмотрен ряд проблем и предложен путь их решения, связанный с разработкой, изготовлением и применением кабельных сборок военного назначения, применяемых при разработке и производстве вооружения военной и специальной техники.

Annotation: the article considers a number of problems and suggests a way to solve them related to the development, manufacture and use of military cable assemblies used in the development and production of weapons of military and special equipment.

Ключевые слова: кабельная сборка, кабель, соединитель, обжатие, пайка, требования и методы их подтверждения, нормативно-техническая документация, набор параметров.

Keywords: cable assembly, cable, connector, compression, soldering, requirements and methods of their confirmation, regulatory and technical documentation, a set of parameters.

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

Введение

Радиоэлектронная аппаратура присутствует практически во всех отраслях современной промышленности и занимает весомую часть при разработке и производстве сложных изделий. Для соединения различных блоков, плат и узлов применяются различные виды кабельных сборок.

Сам термин «кабельная сборка» пришел к нам из зарубежной технической литературы и подразумевает под собой комбинацию кабеля и соединителя с дополнительной защитой или без нее, имеющую установленные технические характеристики, используемую как единое целое [1] (рис.1).



Болдырев М.А.



Скупяко Т.А.



Рис 1. Схема кабельной сборки

Отечественные производители и потребители кабельных сборок применяют этот термин для всех видов кабельных сборок вне зависимости от вида кабеля и соединителя, применяемого при ее изготовлении. Однако в соответствии с Единым кодификатором предметов снабжения для федеральных государственных нужд (ЕК 001- 2023) в класс 5995 «Кабели, шнуры, провода средств связи и радиотехнических устройств» включены кабели, шнуры и провода мерной длины, оснащенные оконечными

устройствами (разъемами, штекерами, вилками и т. д.), а в класс 6145 «Электрические провода и кабели» включены кабельные сборки [2].

При анализе данной информации возникает ряд вопросов. Можно ли сказать, что в терминах, изложенных в классах 5995 и 6145, подразумеваются изделия под общим термином кабельные сборки? Комбинацию радиочастотных, коаксиальных кабелей, кабелей связи с соединителями нельзя называть кабельной сборкой? Ответов

на эти вопросы на данный момент нет ни в одном нормативно-техническом документе Российской Федерации.

Основная часть

Среди большинства предприятий разработчиков и изготовителей образцов вооружения военной и специальной техники и их составных частей (далее – ВВСТ и их СЧ) наблюдается тенденция применения готовых кабельных сборок, а не закупка по отдельности кабелей и соединителей.

В первую очередь это связано с отсутствием возможности четкого контроля качества обжатия или пайки кабельных сборок, изготовленных в рамках технологического процесса изготовления ВВСТ и их СЧ. Во вторую очередь это обосновано удобством монтажа и дальнейшей эксплуатацией кабельных сборок, а также исключением из процесса изготовления конечного изделия операции обжатия или пайки.

При изготовлении кабельных сборок перед предприятиями промышленности встает ряд задач, решение которых на данный момент вызывает затруднения.

Первой задачей является согласование габаритных размеров и механических параметров между кабелем и соединителями, которыми он оконцовывается. На данный момент нет регламентированных и взаимосвязанных габаритных размеров кабелей и соединителей и это при условии, что кабели без соединителей и соединители без кабеля, как правило, не функциональны. Отсутствие четко определенных габаритных размеров ведет к разработке и серийному выпуску изделий в дальнейшем не пригодных для использования, при изготовлении кабельных сборок как единого целого.

На практике даже для измерения волнового сопротивления, одного из основных показателей для радиочастотных кабелей, необходимо применение соединителей. Но тут возникает проблема в отсутствии подходящего разъема или диаметра соединителя. В таких случаях в отделах технического контроля прибегают к применению изолянты или клеящих лент, что в свою очередь ставит под сомнения достоверность и точность измерений параметра в такой конструкции.

После согласования габаритных размеров появляется вторая задача – согласование электрических характеристик. Электрические параметры кабеля не должны заглушаться электрическими параметрами соединителей, а наоборот они должны дополнять друг друга для получения определенного набора электрических характеристик кабельной сборки.

В настоящее время разработана нормативно-техническая документация, в которой заданы требования и набор характеристик на кабельно-проводниковую продукцию и соединители по отдельности, но отсутствует на кабельные сборки. Анализ нормативно-технической документации показал, что ряд основных технических характеристик кабельно-проводниковой продукции и соединителей не согласованы между собой.

Даже если опустить все проблемные аспекты, связанные с производством кабельных сборок, изложенные выше, и перейти к подтверждению требований, задаваемых действующей нормативно-технической документацией

ей на изделия электронной компонентной базы, которыми являются кабельные сборки, то здесь тоже выявляется ряд проблем.

У предприятий промышленности, которые занимаются производством кабельных сборок гражданского назначения, на вооружении есть целая серия стандартов Международной электротехнической комиссии (далее – МЭК), чего нельзя сказать о предприятиях оборонно-промышленного комплекса, изготавливающих кабельные сборки для образцов ВВСТ и их СЧ.

Производители изготавливают кабельные сборки по техническим требованиям заказчика, включающим электрические параметры, стойкость при механических и климатических воздействиях, надежность при эксплуатации и хранении. Для изготовления кабельной сборки необходимо знать марку кабеля, типы соединителей, а также точную геометрическую длину кабельной сборки. Определение геометрической длины кабельной сборки определяется как расстояние между плоскостями сочленения прямых соединителей и между осями угловых соединителей в соответствии со стандартом МЭК [3], что показано на рис. 2.

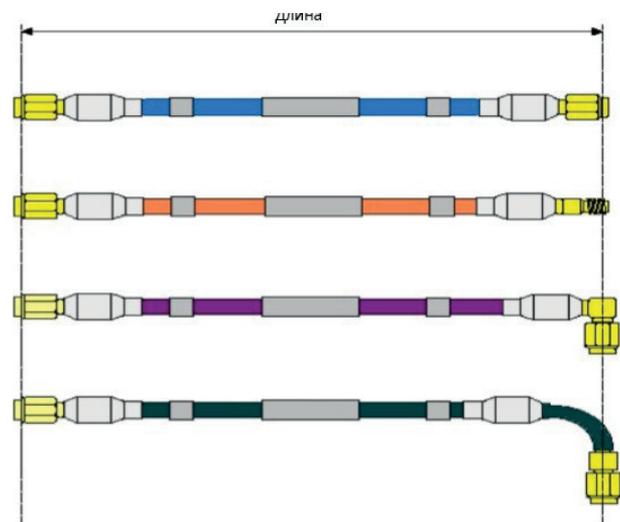


Рис. 2. Геометрическая длина кабельных сборок

На данный момент разработана и серийно изготавливается незначительная номенклатура радиочастотных кабельных сборок военного назначения, требования к которым заданы на основе положений стандартов МЭК. В тоже время методы подтверждения данных требований заимствованы из разной нормативно-технической документации на радиочастотные кабели и соединители.

Рассмотрим один из простых примеров. В действующих технических условиях на кабельную сборку военного назначения контроль электрического сопротивления изоляции между корпусом соединителя и токоведущими жилами проводят по ГОСТ 3345-76 «Кабели, провода и шнуры. Методы определения электрического сопротивления изоляции». Данный ГОСТ не позволяет оценить соответствие заданным требованиям к кабельной сборке.

Из-за отсутствия отечественной нормативно-технической документации, аналогичной стандартам МЭК на кабельные сборки, предприятия промышленности придерживаются мнения, что некоторые требования и методы испы-

таний для кабельных сборок приведены в ГОСТ 20465-85 «Соединители радиочастотные коаксиальные Общие технические условия» и ГОСТ РВ 6145-002-2019 «Кабели радиочастотные. Общие технические условия».

Заключение

Единственным верным способом решения всех оговоренных выше проблемных вопросов будет являться разработка нормативно-технической базы на кабельные сборки военного назначения в части:

- определения понятий и основных характеристик кабельных сборок, в том числе для оценки качества сборки готовых изделий в местах обжима или пайки;

- систематизации и регламентирования габаритных размеров, механических и электрических параметров кабельных изделий и соединителей;

- установления единых требований и методов их подтверждения;

- определения набора параметров кабельных изделий и соединителей для оценки целесообразности их комбинации для получения кабельной сборки с необходимыми характеристиками.

Литература

1. Джуринский К.Б. «Радиочастотные соединители, адаптеры и кабельные сборки», – М.: ООО «ВАШ ФОРМАТ», 2018.
2. Единый кодификатор предметов снабжения для федеральных государственных нужд (ЕК 001-2023), 2024.
3. IEC 60966-2-1 ed.3.0 (2008). International standard. Radio frequency and coaxial cable assemblies; Part 2-1: Sectional specification for flexible coaxial cable assemblies.

УДК 004.04;004.4

ПОДХОДЫ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

APPROACHES TO IMPROVING SOFTWARE DEVELOPMENT PROCESSES FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES

Трусов А. В., д. т. н., доцент, профессор кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы», ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
+7 (342) 233-27-29, tav@permcnti.ru;

Мартьянов Д.С., военнослужащий РВСН Вооруженных сил Российской Федерации, +7 (925) 612-60-72

Trusov A.V., Doctor of Technical Sciences, Professor of the “Department of Information Technologies and Automated Systems”, Associate Professor, “Perm National Research Polytechnic University”, +7 (342) 233-27-29, tav@permcnti.ru;

Martyanov D.S., serviceman of the Strategic Missile Forces of the Armed Forces of the Russian Federation,
+7 (925) 612-60-72

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы совершенствования процессов разработки программного обеспечения для беспилотных летательных аппаратов. Проведено исследование процессов разработки программного обеспечения для беспилотных летательных аппаратов. Предложена организация системы разработки программного обеспечения для беспилотных летательных аппаратов.

Annotation. The article discusses issues of improving software development processes for unmanned aerial vehicles. A study of software development processes for unmanned aerial vehicles was conducted. An organization of a software development system for unmanned aerial vehicles is proposed.

Ключевые слова: разработка программного обеспечения, технологии искусственного интеллекта, нейронные сети, беспилотные летательные аппараты.

Keywords: software development, artificial intelligence technologies, neural networks, unmanned aerial vehicles.

Научная специальность: 2.3.8. Информатика и информационные процессы, 6.2.4. Системный анализ, моделирование боевых действий и систем военного назначения, компьютерные технологии в военном деле.

Введение

Современные технологии развиваются стремительными темпами, что требует от производителей программно-аппаратных средств ускоренной адаптации к новым условиям и постоянного совершенствования процессов разработки программного обеспечения (далее – ПО). Встраиваемое программное обеспечение, используемое в самых

различных производственных процессах от промышленной автоматизации до бытовой электроники, предъявляет особые требования к качеству, надежности и скорости разработки. Традиционные подходы к созданию встраиваемого ПО часто сталкиваются с рядом ограничений, к которым в первую очередь следует отнести сложность в интеграции с аппаратным обеспечением, жесткие требо-



Трусов А. В.



Мартьянов Д.С.

вания к энергопотреблению, производительности и безопасности, а также ограниченные возможности внесения изменений на поздних стадиях разработки.

Особенно актуальными эти вопросы становятся для разработчиков ПО встраиваемых систем для беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА), где требования к качеству, надежности и безопасности выходят на первый план. ПО для беспилотных летательных аппаратов должно обеспечивать работу в реальном времени, эффективно взаимодействовать с разнообразными сенсорами, системами навигации и управления, а также учитывать высокие риски, связанные с возможными сбоями. Исходя из этого, любой программный дефект в этих системах способен привести к катастрофическим последствиям, включая потерю дорогостоящего оборудования или угрозу безопасности людей.

Основная часть

Исследование процессов разработки программного обеспечения для беспилотных летательных аппаратов

Одной из ключевых проблем процессов разработки программно-технического обеспечения для беспилотных летательных аппаратов является недостаточная проработанность принципов и подходов к обеспечению жизненного цикла разработки программного обеспечения БПЛА. Существующие методы автоматизации разработки и тестирования ПО имеют низкую эффективность при адаптации к задачам встраиваемых систем. Это приводит к тому, что компании и исследовательские группы создают системы и процессы практически «с нуля», адаптируя их под уникальные особенности своих проектов, что затрудняет масштабирование и повторное использование решений и в конечном итоге увеличивает время разработки и снижает эффективность производственного процесса.

К негативным факторам разработки встраиваемого ПО для БПЛА следует отнести:

- отсутствие единых стандартов в процессах разработки, управления изменениями, тестирования и развертывания ПО для БПЛА;
- недостаточное использование комплексного подхода к автоматизации операций, связанных с управлением процессами интеграции ПО, что негативно влияет на обеспечение высокого уровня надежности БПЛА;
- сложность с организацией процесса мониторинга производительности, выявления ошибок и устранения дефектов ПО БПЛА на всех этапах жизненного цикла.

Автоматизация процессов разработки, тестирования, развертывания и сопровождения программного обеспече-

ния в соответствии с [1–3] основывается на строгом соблюдении принципов функциональной безопасности и использования сертифицированных инструментов. Стандартом рекомендовано применять средства автоматической трассировки требований на всех этапах жизненного цикла ПО. Инструменты статического анализа помогают проверять соответствие кода требованиям безопасности, а генерация кода из моделей, таких как MATLAB/Simulink, позволяет минимизировать ошибки на этапе проектирования.

В процессе развертывания автоматизированные инструменты управления версиями и конфигурацией ПО обеспечиваются контроль над изменениями, необходимыми для соблюдения стандартов. Также используются средства автоматического обновления версии программного обеспечения, например, Over-the-Air, которые минимизируют риски при внедрении новых версий. Автоматизированные инструменты мониторинга позволяют отслеживать состояние ПО систем в реальном времени, а механизмы предиктивного анализа помогают прогнозировать отказы на основе собранных данных.

Наряду с традиционными подходами и инструментами разработки ПО, целесообразно использовать технологии искусственного интеллекта [4], основанные на методах машинного обучения, в частности нейронных сетях, которые представляют собой один из наиболее перспективных инструментов для оптимизации любых технологических процессов, в том числе процессов связанных с разработкой ПО.

На современном этапе развития, применение методов машинного обучения и нейросетей получают всё большее развитие. Нейронные сети успешно применяются для моделирования различных производственных и технологических процессов, что обусловлено тем, что нейронные сети позволяют учитывать большое количество параметров, влияющих на разработку, а также их взаимное влияние. Использование данных методов позволит выявлять оптимальные параметры процессов, прогнозировать и предотвращать потенциальные проблемы, а также минимизировать материальные издержки. Это делает машинное обучение неотъемлемой частью современного производственного менеджмента, в том числе и для управления процессами разработки встраиваемого ПО для БПЛА.

Создание нейросетевой модели для прогнозирования процессов разработки встраиваемого ПО для БПЛА позволит:

- улучшить качество разрабатываемого ПО через перевод изделия из неэффективного состояния в эффективное, пригодное для эксплуатации;
- снизить издержки, оптимизируя трудозатраты на разработку, тестирование и использование ПО для БПЛА. Оптимизация процесса разработки встраиваемого ПО через внедрение машинного обучения способствует достижению нескольких ключевых целей:
- минимизация производственных издержек при сохранении необходимого уровня качества ПО;
- повышение устойчивости и эффективности процессов производства ПО.

Методы машинного обучения на основе нейронных сетей могут стать основой для разработки системы поддержки принятия решений, которая будет учитывать различные параметры при разработке ПО для достижения конечного оптимального результата.

Безусловно необходимо отметить и ряд проблемных моментов, которые оказывают негативное использование методов машинного обучения. К таким факторам следует отнести то, что существующие модели в большинстве случаев фокусируются на прогнозировании, без возможности коррекции параметров в реальном времени. Практическое применение часто отстает от теоретических разработок, особенно в условиях неопределенности и недостатка данных. Также следует отметить, что большая часть современных решений разработана за рубежом, что делает их труднодоступными для российских предприятий в текущих экономических условиях, а также оказывает существенное влияние на вопросы безопасности при разработке.

Для преодоления этих проблем требуется разработка адаптивных моделей, учитывающих реальные производственные условия разработки встраиваемого ПО и создание систем поддержки принятия решений, которые интегрируют нейронные сети с байесовскими подходами [5]. Такие исследования должны быть ориентированы на локальные условия, что будет способствовать технологической независимости российских разработок.

Разработка нейросетевой модели начинается со сбора данных и их качественной обработки. Данные собираются в течение продолжительного периода времени и включают в себя множество экспериментов с использованием тренировочной и валидационной выборок для определения

наиболее оптимальной архитектуры ПО, способной обеспечить наилучшие результаты. Разработка встраиваемого ПО на основе байесовской нейронной сети обеспечивает вместо получения единственного значения параметра его распределение, что позволит для каждой комбинации входных параметров получать не одно значение на выходе, а множество, отражая естественную вариативность зависимой переменной. Такой подход даст возможность учитывать неопределенность и анализировать риски, связанные с решениями, принимаемыми на основе разработанной модели.

По сути, предлагаемая нейросетевая модель, основанная на байесовском подходе, является своего рода сервисом, который дополняет традиционную систему разработки, позволяет осуществлять интеллектуальную обработку данных и на этой основе позволяет формировать наиболее оптимальную архитектуру ПО, способной обеспечить наилучшие практические результаты для БПЛА.

Организация система разработки программного обеспечения для беспилотных летательных аппаратов

Следует понимать, что предлагаемая нейросетевая модель является частью единой системы разработки программного обеспечения для беспилотных летательных аппаратов и представляет собой модель анализа и обработки данных, взаимодействующей с различными традиционными системами автоматизации процессов разработки. То есть после того, как структура нейросетевой модели будет подобрана, а результат на тестовой выборке будет выдавать удовлетворительное значение, необходимо обеспечить ее интеграцию в архитектуру производственной системы разработки ПО (рис. 1).

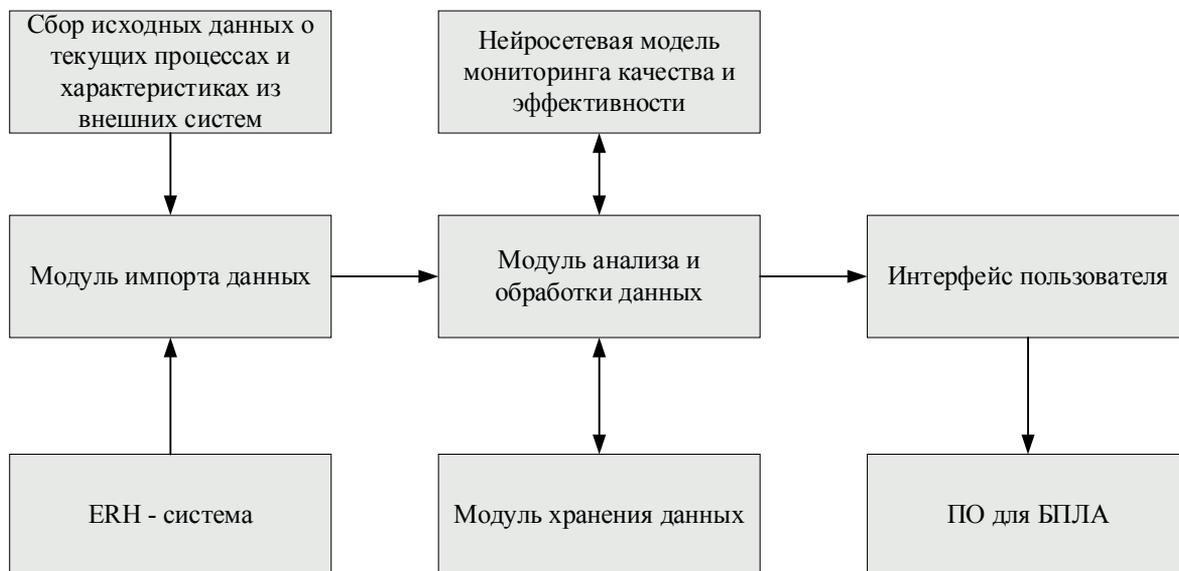


Рис. 1. Система разработки программного обеспечения для беспилотных летательных аппаратов

Система для поддержки процесса разработки программного обеспечения для БПЛА в своем составе содержит:

- модуль импорта данных;
- модуль анализа и обработки данных;
- нейросетевую модель мониторинга качества и эффективности разработки ПО;

- интерфейс пользователей;
- модуль хранения данных.

Модуль импорта данных предназначен для обеспечения импорта данных из существующих ERP-систем. Интеграция с ERP-системой позволит осуществлять:

- поддержку стандартов интеграции, таких как REST API, для подключения к ERP-системам (SAP, 1C и аналогичным решениям);
- автоматический обмен данными в формате JSON, XML или через файловый импорт/экспорт (CSV);
- обеспечение совместимости с современными стандартами безопасности передачи данных (SSL/TLS);
- логирование операций импорта данных для анализа и устранения ошибок.
- интерактивные графики и диаграммы для анализа процесса разработки ПО в режиме реального времени;
- предупреждение об отклонениях технологических параметров в разработке ПО с выделением критических ситуаций;
- доступ к рекомендациям по выбору оптимальной архитектуры разрабатываемого ПО;
- взаимодействие с модулями анализа для детального изучения данных.

Осуществляется импорт данных о текущих процессах и характеристиках из внешних систем, включая:

- интеграцию с промышленными датчиками через протоколы API для получения данных, влияющих на разработку ПО;
- автоматический сбор технологических данных в режиме реального времени с БПЛА и характеристиках, влияющих на эффективность работы ПО;
- предоставление интерфейса для ручного ввода параметров в случае отказа автоматической системы (например, поломка датчиков);
- проверку вводимых данных с помощью встроенных алгоритмов валидации (например, диапазон допустимых температур);
- журналирование всех ручных изменений с указанием пользователя, даты и времени внесения данных.

Модуль анализа и обработки данных обеспечивает:

- использование алгоритмов для минимизации затрат (временных, финансовых, человеческих) на разработку с учётом качества ПО;
- интеграцию данных из ERP для актуальной оценки затрат на разработку ПО;
- автоматическое предоставление рекомендаций по выбору оптимальной архитектуры из базы данных типовых решений для разработки ПО.

Нейросетевая модель мониторинга качества и эффективности разработки ПО нацелена на:

- предсказание качества конечного продукта;
- построение решений для прогнозов в зависимости от заданного уровня риска (настраиваемо через интерфейс);
- валидацию прогнозных моделей на исторических данных, хранящихся в базе;
- настраиваемый выбор уровня риска;
- использование встроенных механизмов уведомлений, если прогнозируемое качество ПО выходит за пределы заданных параметров;
- выдачу рекомендаций разработчикам в реальном времени по корректировке архитектуры ПО;
- автоматическую корректировку архитектуры ПО.

Интерфейс пользователей позволяет осуществлять:

- отображение текущего состояния процесса разработки ПО, включая ключевые параметры и отклонения от нормы;

Модуль хранения данных обеспечивает структурированное хранение данных, включая:

- сохранение всех параметров процесса разработки ПО для последующего анализа;
- архивацию данных;
- логирование всех событий системы, включая корректировки параметров, ошибки и ручные операции;
- формирование отчетов по ключевым показателям за выбранный период времени;
- экспорт данных в форматы PDF, Excel и XML для внешнего анализа.

Заключение

Таким образом, предлагаемый подход к совершенствованию процессов разработки программного обеспечения позволяет повысить эффективность разработки встраиваемого ПО для БПЛА, заложить основы формирования единых стандартов разработки, управления изменениями, тестирования и развертывания ПО для БПЛА, в том числе с использованием технологий искусственного интеллекта. Также обеспечивается возможность формирования комплексного подхода к автоматизации операций, связанных с управлением процессами интеграции ПО, что позволит обеспечить высокий уровень надежности разрабатываемого ПО для БПЛА, с учетом мониторинга производительности, выявления ошибок и устранения дефектов ПО БПЛА на всех этапах жизненного цикла.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО 26262-6-2021 «Дорожные транспортные средства. Функциональная безопасность. Часть 6. Разработка программного обеспечения изделия».
2. КТ-178В «Требования к программному обеспечению бортовой аппаратуры и систем при сертификации авиационной техники» // Межгосударственный Авиационный Комитет «Авиационный Регистр».
3. ГОСТ ИЕС 61508-3-2018 «Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 3. Требования к программному обеспечению».
4. Ясницкий Л.Н. «Введение в искусственный интеллект». М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 176 с.
5. Баутин А.Г. «Байесовский подход и оценка числовых данных в условиях неопределенности» // Журнал «Мягкие измерения и вычисления», Том 34, № 9, -2020, С.53-65.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ НА ИЗДЕЛИЯХ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ
ПРИ ПОМОЩИ СВЕРХТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

REAL-TIME DEFECT DETECTION ON MICROELECTRONIC COMPONENTS USING A CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

Рубцов Ю.В. генеральный директор, главный конструктор, +7 (926) 009-37-00, rubtsov@deyton.ru,
Малышев В.Э. инженер лаборатории унификации и замещения, malyshev@deyton.ru,
Назаренко А.А. инженер лаборатории унификации и замещения; nazarenko@deyton.ru,
АО «ЦКБ «Дейтон»

Rubtsov Yu.V., general director, head of chair, chief designer, +7 (926) 009 37 00, rubtsov@deyton.ru,
Malyshev V.E., engineer of the unification and substitution laboratory, malyshev@deyton.ru,
Nazarenko A.A., engineer of the unification and Substitution Laboratory, nazarenko@deyton.ru,
JSC central design office "Deyton"

Аннотация. Данная статья посвящена применению сверточной нейронной сети для обеспечения автоматизированного контроля качества изделий микроэлектроники в режиме реального времени. Была обучена сверточная нейронная сеть для поиска дефектов на корпусах для интегральных микросхем. Результаты экспериментов демонстрируют высокую точность и скорость обнаружения дефектов при использовании сверточной нейронной сети, что подтверждает ее потенциал в применении для решения задач контроля качества.

Annotation. This article is dedicated to the application of a convolutional neural network for ensuring automated real-time quality control of microelectronic components. A convolutional neural network was trained to detect defects on the casings of integrated circuits. The experimental results demonstrate high accuracy and speed of defect detection when using the convolutional neural network, confirming its potential for quality control applications.

Ключевые слова: сверточная нейронная сеть, поиск дефектов, компьютерное зрение, контроль качества.

Keywords: convolutional neural network, defect detection, computer vision, quality control.

Научная специальность: 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей.

Введение

В современной микроэлектронике контроль качества изделий играет решающую роль в обеспечении надежной работы электронных устройств. С уменьшением размеров компонентов, традиционные методы контроля, такие как визуальный осмотр, не всегда обеспечивают высокую эффективность при обнаружении мельчайших дефектов в реальном времени.

В последние годы нейросетевые методы стали популярным средством для решения задач компьютерного зрения, включая обнаружение объектов на изображениях [1]. Сверточные нейронные сети позволяют крайне точно и быстро определять нужные объекты на изображениях, даже в условиях ограниченной освещенности или изменяющейся сцены.

Целью данной статьи является исследование возможности применения сверточной нейронной сети для обнаружения дефектов на изделиях микроэлектроники в режиме реального времени.

Основная часть

Распознавание объектов на изображении успешно осуществляется при помощи сверточной нейронной сети, представляющей собой математическую модель, состоящую из взаимосвязанных искусственных нейронов.



Ю.В. Рубцов



В.Э. Малышев



А.А. Назаренко

Входные данные представлены в виде вектора признаков, который последовательно проходит через слои нейросети, а на выходе получаются вероятности принадлежности объекта к заданным классам [2]. Обычно нейронная сеть работает с числовыми данными, а не символьными.

На рис. 1 изображена схема искусственного нейрона, принимающего на вход параметры $X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_n$, которые могут быть как исходными данными, так и выходными параметрами других нейронов. У каждого параметра есть свой вес W , на который умножается его значение. Затем взвешенные параметры суммируются, а полученное значение отправляется в функцию активации, которая после вычисления результата принимает решение о том, передавать ли сигнал следующему нейрону.

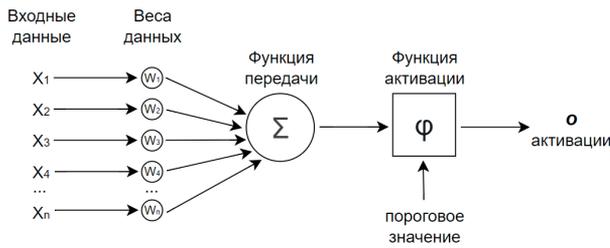


Рис. 1. Схема искусственного нейрона

Сверточная нейронная сеть состоит из нескольких различных слоев. На рис. 2 представлена подробная структура сверточной нейронной сети [3].

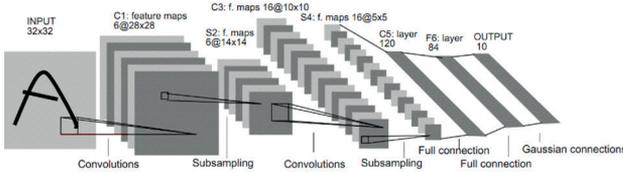


Рис. 2. Структура сверточной нейронной сети

Входной слой

Входные данные [32x32x3] будут содержать необработанные значения пикселей изображения. В данном случае, изображение шириной 32, высотой 32 и тремя цветовыми каналами (RGB) показано на входных данных (INPUT) на рис. 2.

Сверточный слой

Сверточный уровень является основой сверточной нейронной сети. Параметры уровня свертки состоят из набора обучаемых фильтров. Каждый фильтр пространственно невелик по ширине и высоте, но простирается на всю глубину входного объема. Например, типичный фильтр на первом слое сверточных сетей может иметь размер 5x5x3, ширину и высоту в 5 пикселей, а также 3 пикселя в глубину (цветовые каналы). Во время прямого прохода мы перемещаем (свертываем) каждый фильтр по ширине и высоте входного объема и вычисляем точечные произведения между элементами фильтра и входными данными в любом положении. Перемещая фильтр по ширине и высоте входного объема, мы создаем двумерную карту активации, которая отображает отклики этого фильтра в каждом пространственном положении. Интуитивно сеть распознает фильтры, которые активируются, когда они видят какие-либо визуальные особенности, такие как край определенной ориентации или пятно определенного цвета. После получения полного набора фильтров в каждом слое свертки, каждый из них создаст отдельную двумерную карту активации. Если мы сложим эти карты активации по измерению глубины, то получим выходной объем [4]. Пример двумерных сверток показан на рис. 3. На данном примере мы ограничиваем вывод только позициями, в которых фильтр или ядро полностью находятся внутри изображения. Прямоугольники со стрелками показывают, как создается верхний левый элемент выходных данных путем применения фильтра к соответствующей верхней левой области входных данных.

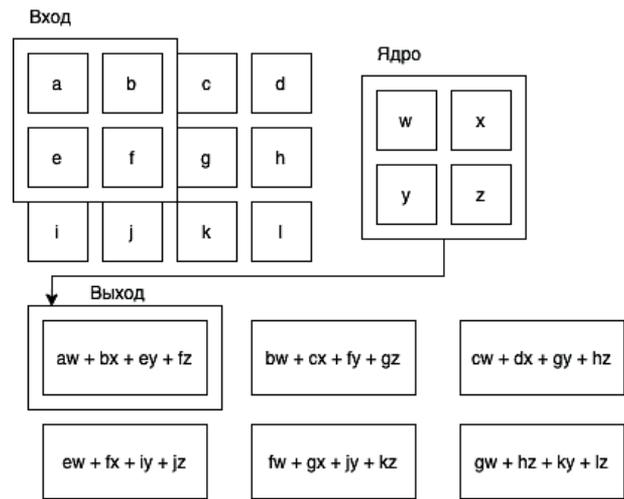


Рис. 3. Работа с двумерными вертками

ReLU

ReLU расшифровывается как выпрямленная линейная единица и является нелинейной операцией (англ. rectified linear unit). ReLU - это поэлементная операция, применяющаяся для каждого пикселя, которая заменяет все отрицательные значения пикселей на карте объектов на ноль. Цель ReLU - ввести нелинейность в нашу нейронную сеть, поскольку нам нужно, чтобы большая часть реальных данных, которые требуется изучить нашей нейронной сети, была нелинейной (свертка - это линейная операция поэлементного умножения и сложения матриц, поэтому мы учитываем нелинейность, вводя нелинейную функцию, подобную ReLU).

Пулингвый слой

Пулингвый слой отвечает за уменьшение пространственного размера карт активации, сохраняя наиболее важную информацию. Как правило, они используются после нескольких повторений других уровней сверточности и нелинейности, чтобы постепенно снижать вычислительные требования к сети, а также сводить к минимуму вероятность переобучения [5].

Полносвязный слой

Полносвязный слой – это слой, в котором каждый нейрон соединен со всеми нейронами на предыдущем уровне [6]. Математически, данный слой может быть описан следующей формулой:

$$y = \text{activation}(W \times x + b),$$

где y – выходные данные слоя;

x – входные данные (вектор), полученные из предыдущего слоя;

W – матрица весов, которая соединяет входные и выходные данные;

b – вектор сдвига, который добавляется к выходным данным;

activation – функция активации, которая применяется к выходным данным.

Функция активации может быть различной в зависимости от задачи и выбора алгоритма. Наиболее подходя-

щей функцией активации для осуществления контроля качества является ReLU.

Выходной слой

После того, как все предыдущие слои были связаны с помощью полносвязного слоя, наступает время для классификации выходных данных. Для того, чтобы понять, каким именно образом это работает, приведем небольшой пример: предположим, что мы провели обучение сверточной нейронной сети на наборе изображений, который имеет 2 класса: X и O. После обучения, мы предоставляем входные данные для классификации. Наш результат будет отображаться в виде 0 или 1. Как мы можем видеть в таблице 1, X представлен как 1, а O представлен как 0. Существует 94 %-ная вероятность того, что изображение принадлежит к классу X и 52 %-ная вероятность принадлежности к классу O. Таблица также показывает, что из 54 % от вероятности ошибки, 6 % приходится на X и 48 % на O. В зависимости от этих вероятностей, сверточная нейронная обнаруживает и классифицирует изображения.

Таблица 1

Вычисление ошибки

	Вероятность правильной классификации	Вероятность ошибки
X (1)	0,94	0,06
O (0)	0,52	0,48

Методология контроля качества

В процессе посещения завода по производству корпусов для интегральных микросхем и тщательного изучения линии контроля качества, стало понятно, что данный процесс может быть выполнен с помощью сверточной нейронной сети, что позволит значительно сократить время и существенно повысить точность отбраковки. Для реализации данного проекта был сформирован датасет, состоящий из более, чем 2000 изображений корпусов, которые были разделены на два класса: корпус со стеклом и корпус с раковинной. На рис. 4 продемонстрирован пример корпуса с дефектом «раковина».

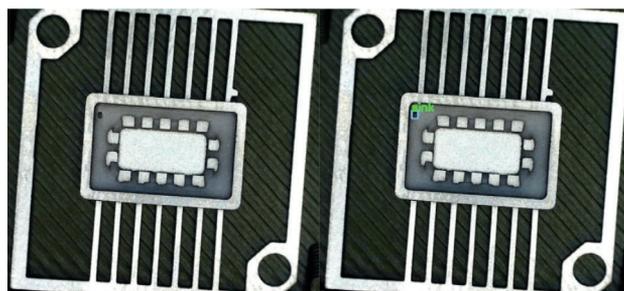


Рис. 4. Пример корпуса с раковинной

Обучение

После того, как изображения были получены, датасет был разделен в соотношении 3:1 на две части: снимки для обучения и снимки для валидации. Далее была осу-

ществлена разметка браков на изображениях и проведено обучение сверточной нейронной сети. Результат обучения представлен на рис. 5.

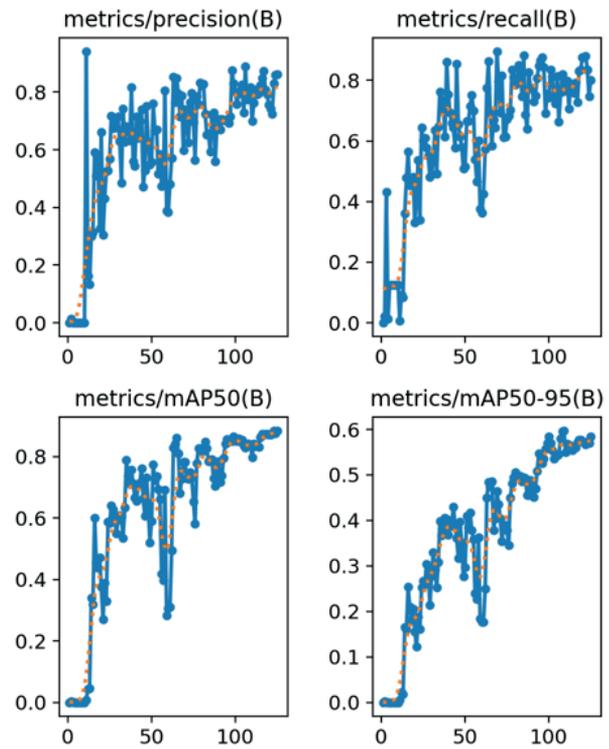


Рис. 5. Результат обучения

Результаты

Завершающим этапом стала проверка работы сверточной нейронной сети на реальных корпусах, в таблице 2 приведены результаты данной проверки.

Таблица 2

Среднее значение точности проведенных тестов

	Обучение, %	Валидация, %	Тестирование на реальных корпусах, %
Тест 1	91,89	86,94	81,46
Тест 2	91,92	87,95	81,95
Тест 3	91,87	87,82	83,34
Тест 4	91,90	87,91	81,67
Тест 5	91,94	88,16	82,19
Ср. знач.	91,90	87,76	82,12

Заключение

В данной статье был описан метод классификации изделий микроэлектроники с целью контроля качества с использованием сверточной нейронной сети. Эффективность данного способа поиска дефектов была подтверждена тестированиями по их обнаружению на корпусах для интегральных микросхем.

Литература:

1. Lecun Y., 2011. Traffic Sign Recognition with Multi-Scale Convolutional Networks.

2. Socher R., Huval B., Bhat B., Manning C. D., Ng A.Y., 2012. Convolutional-Recursive Deep Learning for 3D Object Classification.
3. LeCun Y., Bottou L., Bengio Y., Haffner P. Gradient Based Learning Applied to Document Recognition // PROC OF THE IEEE. 1998.
4. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. The MIT Press, 2016.
5. Zhao L., Zhang Z. A improved pooling method for convolutional neural networks // Scientific Reports. 2024.
6. Basha S.S., Dubey S.R., Pulabaigari V., Mukherjee S. Impact of Fully Connected Layers on Performance of Convolutional Neural Networks for Image Classification // Neurocomputing. 2019.

УДК: 621.3

КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ И СВЯЗЬ С TQM И MES

COMPUTER VISION IN QUALITY CONTROL SYSTEMS AND CONNECTION WITH TQM AND MES

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

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

Аннотация. Развитие технологий применения изделий электронной техники тесно связано с развитием систем технологических процессов. В этой статье показано, как разработка систем контроля качества и управления производством, таких как TQM и MES, связана с развитием методов автоматизированного съема изображений и анализа изображений, используемых в электронной промышленности. Развитие методов автоматизированного съема изображений обсуждается в контексте развития возможностей контроля качества изделий электронной техники. Также показано, в какой степени анализ изображений можно использовать для наблюдения за производственными параметрами и возможностями управления процессами. Отмечено, что использование систем компьютерного (технического) зрения в качестве системы контроля качества изготовления и применения изделий электронной техники будет расширяться. На фоне увеличения разрешения изображений произошло увеличение частоты съемки изображений, рост спектрального диапазона изображений, а также динамичное развитие методов трехмерной и гибридной съемки изображений. На основе опыта промышленного применения и задач определены направления, в которых системы компьютерного зрения будут играть ключевую роль в задачах контроля.

Annotation. The development of electronic product application technologies is closely related to the development of process engineering systems. This article shows how the development of quality control and manufacturing management systems, such as TQM and MES, is related to the development of automated image acquisition and image analysis methods used in the electronics industry. The development of automated image acquisition methods is discussed in the context of the development of quality control capabilities for electronic products. It is also shown to what extent image analysis can be used to monitor production parameters and process control capabilities. It is noted that the use of machine vision systems as a quality control system for the manufacture and application of electronic products will expand. Against the background of increasing image resolution, there was an increase in the frequency of image acquisition, an increase in the spectral range of images, and a dynamic development of three-dimensional and hybrid image acquisition methods. Based on the experience of industrial application and tasks, the directions in which computer vision systems will play a key role in control tasks are determined.

Ключевые слова: компьютерное зрение; анализ изображений; контроль качества; изделие электронной техники.

Keywords: computer vision, image analysis, quality control, electronic product.

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

Введение

Рост темпов использования систем компьютерного зрения (далее – КЗ) и методов анализа изображений при реализации контрольно-измерительных задач для оценки качества изготовления изделий электронной техники (далее – ИЭТ) (изделий, применяемых в электрических схемах функциональных узлов аппаратуры и выполняющие в них определенную функцию) [1] и ве-



Дормидошина Д.А.

дения производственного процесса оказывает существенное влияние на техническое и технологическое развитие предприятий, создание современных производственных мощностей, оборудования и производственных линий. Характерной особенностью современных производственных линий предприятий, изготавливающих ИЭТ, является их возрастающая структурная и функциональная сложность в управлении технологией и производственным процессом. Растет доля электронных систем, систем привода, систем управления, систем безопасности и специализированного программного обеспечения для управления работой оборудования. Большинство устройств также оснащены подсистемами, позволяющими осуществлять автоматическую диагностику рабочих параметров. Время работы и параметры каждой подсистемы контролируются, что позволяет собирать и анализировать исторические и текущие данные в производственных системах. На основании этих параметров определяют сроки периодических осмотров и капитальных ремонтов, а также степень износа узлов, работающих в оборудовании [2]. Результаты работы подсистем диагностики, установленных в оборудовании, позволяют сократить время реагирования сервисных служб и сократить время на демонтаж. Разработка систем контроля работы оборудования в настоящее время ориентирована на прогнозирование возможности возникновения отказов и использование искусственного интеллекта в этих задачах.

Оборудование, выполняющее операции в производственном процессе, также является частью системы управления качеством производства. Это предполагает оснащение систем управления производственными линиями и систем контроля и измерения, установленные на оборудовании, интерфейсами, обеспечивающими связь с системами:

- TPM (Total Productive Maintenance) – всеобщий уход за оборудованием: подход к обслуживанию производственного оборудования, направленный на постоянное поддержание его работоспособного состояния – это концепция, описывающая оптимизацию технического обслуживания и его совмещение с целями производства, важная часть более глобальной концепции бережливого производства – Lean Manufacturing;
- TQM (Total Quality Management) – метод непрерывного повышения качества всех процессов на предприятии;
- MES (Manufacturing Execution System) – система управления производственными процессами;
- ERP (Enterprise Resource Planning) – планирование ресурсов предприятия).

Наблюдение и анализ параметров производственного процесса, проводимые на постоянной основе, в настоящее время необходимы с точки зрения управления производственным процессом, связанного с управлением ресурсами предприятия, а также контролем и управлением качеством ИЭТ [3]. Это привело к динамичному развитию архитектуры промышленных информационных систем, используемых в управлении производственными процессами. Следующим шагом стала разработка стратегии «Ин-

дустрия 4.0», основой которой является так называемая «Умная фабрика», предполагающая интеграцию технических средств производства и киберфизических систем, поддерживающих операционные процессы и управление. К техническим средствам производства относятся оборудование, производственные линии, промышленная инфраструктура и транспортные средства. Внедрение концепции «Умной фабрики» направлено на достижение автономности операций управления, мониторинга и контроля качества ИЭТ за счет прямого обмена данными между устройствами оборудования и измерительными системами с использованием сетевой инфраструктуры и алгоритмов анализа данных и решений искусственного интеллекта [4].

Это связано с многолетним планомерным развитием управления технологическими операциями непосредственно в рамках выполнения конкретных задач. От операций по контролю качества на отдельных рабочих местах проводится внедрение систем измерения и контроля как важнейшей составляющей для оборудования и производственных станций. Это требует расширения задач, решаемых в системах управления производством. Также необходимо выбрать соответствующие методы контроля ИЭТ и измерить его параметры в промышленных условиях. При этом необходимо учитывать оборудование и конструкции устройств, установку сетевой инфраструктуры, позволяющей осуществлять измерения и анализ данных измерений. По результату проведенного контроля принимается решение о направлении элемента ИЭТ на дальнейшую переработку или снятии его с процесса из-за несоответствия параметрам, принятым в технологической документации. Параметры измерения ИЭТ передаются на взаимодействующие устройства оборудования и используются в процессе управления производством.

Также важно связать параметры, характеризующие качество ИЭТ, с параметрами производственного процесса [5]. Повышение требований к развитию функций средств производства в сторону реализации диагностики, анализа и сообщения о параметрах, описывающих работу производственных линий, приводит к разработке киберфизических систем [6]. Эти системы отвечают за управление процессом с помощью сенсорных сетей и мониторинг производства с помощью цифровых сетей [7]. Кроме того, киберфизические системы обеспечивают доступ к распределенным промышленным данным [8]. Киберфизические системы следует рассматривать как решения, объединяющие сенсорные сети с системами управления роботами, которые используют промышленные сети.

Современное состояние систем технического зрения в процессах автоматизированного контроля качества изделий электронной техники

Промышленное производство неразрывно связано с постоянной оценкой и улучшением качества продукции. Качество ИЭТ можно оценить в два этапа. Первый этап включает в себя контроль параметров изготовления ИЭТ и технических параметров готового ИЭТ. На следующем

этапе оценка качества ИЭТ проводится его потребителями.

Качество функционального проектирования – параметр, описывающий проект в контексте реализуемой функции. Правильная разработка ИЭТ требует опыта в выборе материалов и элементов, обеспечивающих выполнение предполагаемых функций ИЭТ. Далее необходимо рассмотреть вопросы, связанные с подготовкой технологической изготовления. Качество проекта определяет степень удовлетворенности получателя способом и объемом выполняемых функций, включенных в проект готового ИЭТ.

Качество изготовления ИЭТ – это степень соответствия параметров готового ИЭТ параметрам, принятым в проектной документации. Предполагается, что качество ИЭТ соответствует требованиям, если параметры, описывающие ИЭТ, находятся в пределах допусков, принятых в конструкторской документации. Во многих случаях параметры, принятые в конструкторской документации, сопровождаются и описательными параметрами, определяющими показатели ИЭТ. Все несоответствия предполагаемым параметрам указываются как дефекты ИЭТ.

Определяя роль систем КЗ в реализации задач контроля качества, подразумеваются задачи, связанные с контролем качества изготовления ИЭТ. Это качество можно описать параметрами, описывающими отдельные его свойства. Задача анализа информации, полученной в результате реализации КЗ – указать особенности, которые при параметрической оценке не соответствуют проектным предположениям. Следует отметить, что характеристики качества связаны с видом ИЭТ [9]. При этом речь идет о «производственных дефектах» или «производственных недостатках» в промышленной терминологии. На их формирование больше всего влияют неисправности оборудования, дефекты элементов и материалов, ошибки операторов, организации производства, неправильный или недостаточный технический контроль. Качество изготовления ИЭТ можно определить на основании измерений и испытаний, проводимых в процессе производства на операциях производственного контроля качества. Функциональное качество и качество изготовления ИЭТ вместе описываются как его потенциальное качество. Это проверено потребителями, которые определяют реальную степень удовлетворения своих ожиданий.

Системы КЗ в настоящее время берут на себя контрольно-измерительные операции на производственных линиях. Это связано со значительным увеличением производительности производственных линий и расширением задач контроля. Во многих случаях человек-контролер не может эффективно выполнять необходимые задачи управления. В основном это связано с увеличением частоты проверок, связанным с повышением эффективности производства. Также большое влияние на результаты оказывают отсутствие повторяемости проверок из-за монотонности выполняемой задачи и утомляемости человека. Существует также необходимость наблюдения за явлениями в окружающей среде, агрессивными для человека и такими, которые человеческий глаз не может зарегистрировать (например, из-за опасного для здоровья диапазона

длин волн условий технологических операций) [10]. Применение системы КЗ для выполнения задач в рамках контроля качества ИЭТ можно разделить на исследование и внедрение.

В рамках исследования и подготовки проектирования системы КЗ должны быть проведены исследования в области распознавания, описания задачи измерения и разработки технико-экономического обоснования [11]. Исследования следует проводить с учетом конкретных условий эксплуатации проектируемой системы КЗ. Должны быть включены исследования в области идентификации и оптического моделирования, не обязательные на этапе подготовки правильных условий освещения. Затем следует разработать и протестировать предварительные алгоритмы анализа изображений. Алгоритмы позволяют извлекать из изображения признаки, используемые для измерения параметров, описывающих ИЭТ. Результатом научно-исследовательской работы является разработка технико-экономического обоснования. Это исследование должно включать описание объема контрольных задач, которые могут быть выполнены, и их стоимости. Также следует указать задачи контроля, которые невозможно выполнить в данных производственных условиях. После этапа исследования на основании результатов, полученных в исследовательской части задачи, может быть принято решение о начале работ по внедрению. Только в рамках их реализации выполняются проекты, связанные с установкой системы контроля на производственные линии [12].

Подготовка успешного промышленного проекта требует от инженерного состава междисциплинарных знаний и опыта реализации. Необходимо сотрудничество специалистов в области механики, электроники, оптики и информатики. Инженеры, руководящие производственным процессом, и технологи, ответственные за изготовление ИЭТ, должны взаимодействовать напрямую.

Самый сложный этап внедрения системы контроля качества производства на основе КЗ – перенос на производственную линию решения, разработанного в лабораторных условиях. Серьезной проблемой является достижение предполагаемой точности измерения выбранных характеристик ИЭТ в условиях промышленных помех. Следует также учитывать перспективы модернизации производственных процессов на техническом и качественном уровне автоматизации процессов [13].

Еще одна задача – объединить систему визуального автоматизированного контроля с системами управления, работающими на предприятии, системами сбора и анализа производственных данных, а также системами управления производством и предприятием. На протяжении всей истории развитие производственных систем также приводило к разработке методов оценки производственного процесса. Исследования, проведенные на зарубежных фабриках электроники по статистическим методам описания изменчивости производства, позволили подготовить допущения для SPC (Statistical Process Control – систем статистического управления процессами). Эти исследования были продолжены и дополнены непрерывным улучшением

процессов, что привело к разработке систем управления качеством ИЭТ и процессов TQM. Этот метод управления предприятием направлен на постоянное повышение качества ИЭТ, как с точки зрения производства, так и с точки зрения функциональности ИЭТ.

Системы КЗ играют важную роль в сборе параметров, характеризующих качество производства ИЭТ. Это связано с возможностью контроля многих параметров ИЭТ в одной системе на основе анализа изображения ИЭТ. При этом системы КЗ позволяют связать параметры, описывающие качество ИЭТ, с идентификаторами ИЭТ и технологическими параметрами, при которых ИЭТ были изготовлены. Сбор данных, касающихся качества ИЭТ и параметров процесса, отправляется непосредственно в системы TQM и используется для оценки процесса и реагирования на его изменения.

Например, в производстве микросхем системы КЗ внедряются на каждом этапе производства. Прием сырья в производство в настоящее время осуществляется с использованием сортировочных систем классификации материалов. Первые сортировщики работали с использованием классических алгоритмов анализа изображений монохромных и цветных изображений [14]. Последующие решения использовали инфракрасную визуализацию [15]. С развитием нейронных сетей появились решения, использующие этот метод для классификации качества ИЭТ [16]. Все системы, независимо от используемого метода автоматизированного съема изображений или используемого алгоритма анализа изображений, работают в рамках TQM и обеспечивают качество поступающего в производство материала. Аналогичное развитие технологий КЗ наблюдается и для других видов ИЭТ. Первые научные статьи и реализации обсуждали использование 2D-монохромных и цветных изображений для анализа поверхности ИЭТ и обнаружения поверхностных дефектов с использованием классических алгоритмов анализа изображений [17]. Последующие исследования расширили методы измерения до 3D-решений [18]. На следующем этапе развития систем КЗ в отрасли были реализованы методы машинного обучения [19]. Однако наиболее динамичное развитие систем КЗ наблюдалось в электронике для автомобильного сектора. Можно предположить, что каждая вновь проектируемая производственная линия оборудована комплексом систем КЗ, контролирующей выпускаемую ИЭТ и параметры процессов. Системы КЗ (2D и 3D) используются вместе с промышленными роботами для определения местоположения элементов для изготовления ИЭТ. Поэтому они участвуют в производственном процессе. Кроме того, они также используются в операциях по контролю ИЭТ, где выполняют измерительные задачи [20]. В рамках 3D автоматизированного съема изображений в производственных процессах применяются системы контроля и измерения на основе лазерной триангуляции, стереовидения и метода TOF (Time-of-Flight – времяпролетный метод – измерения расстояния для получения информации о глубине с помощью камеры. Встроенный в камеру источник света излучает световые импульсы, которые достигают

объекта и отражаются обратно в сторону камеры, на основе затраченного световым импульсом времени измеряется расстояние до поверхности объекта и, следовательно, рассчитывается глубины для каждого отдельного пикселя изображения объекта) [21].

При этом наблюдается очень быстрое развитие гиперспектрального автоматизированного съема изображений при выполнении задач контроля в производственном процессе. Этот метод автоматизированного съема изображений позволил наблюдать ИЭТ в нескольких диапазонах электромагнитного излучения и выявлять корреляции между выбранными особенностями объекта и изображением в выбранном диапазоне автоматизированного съема изображений. В сочетании с решениями искусственного интеллекта гиперспектральная автоматизированного съема изображений может стать ключевой технологией обнаружения и оценки дефектов материалов и ИЭТ.

Тенденция внедрения систем автоматизированного съема изображений для измерения и контроля на производственных линиях, наблюдаемая в последние годы, может быть сохранена и в ближайшие годы. Одним из ограничений развития систем контроля качества на основе КЗ являются трудности с доступностью матриц автоматизированного съема изображений высокого разрешения с параметрами, необходимыми для построения систем измерения.

В настоящее время роль систем КЗ как источников данных при автоматизации контроля качества возрастает. Это особенно заметно на предприятиях, использующих системы баз данных и алгоритмы анализа технологических данных, работающие в рамках Smart Industry – взаимосвязанной сети устройств оборудования, механизмов связи и вычислительных мощностей, использующей искусственный интеллект и машинное обучение, для анализа данных, управления автоматизированными процессами и самообучения. Преимущество этого решения в том, что анализ изображения и описание качества ИЭТ в виде параметров осуществляется непосредственно системой КЗ на производственной линии.

Увеличение объемов использования систем КЗ связано с необходимостью автоматизации производственных процессов, а также с необходимостью реализации автоматического контроля качества ИЭТ, управления процессами и роботизацией. Опыт, полученный в ходе внедрения, свидетельствуют о том, что потребность в роботах растет практически на всех предприятиях промышленности. Термин VGR (Vision Guided Robotics) означает, что роботы будут оснащены системой КЗ, задача которой управлять роботом на основе информации, считываемой из окружающей среды системой КЗ. Это касается технологических роботов, выполняющих технологические операции – манипулирования, и транспортных роботов – мобильных роботов, выполняющих логистические функции на предприятиях. Увеличение использования роботов напрямую влияет на рост использования систем КЗ для поддержки технологических операций.

При этом меняется подход к построению алгоритмов контроля качества, используемых в системах КЗ. Очень

высок спрос на новые решения, позволяющие изменить подход к составлению алгоритма контроля качества ИЭТ. На основе использования алгоритмов искусственного интеллекта глубокое обучение применяется при подготовке приложений, позволяющих выявлять дефекты ИЭТ.

Не менее значительный рост заметен и прогнозируем при проектировании, конструировании и промышленном внедрении готовой системы КЗ на производственной линии в задачах качества.

Пути развития и препятствия развитию систем технического зрения в процессах автоматизированного контроля качества изделий электронной техники

Системы КЗ поддерживают автоматизацию всего спектра задач, выполняемых на производственных линиях. Они являются источником данных о качестве ИЭТ для систем управления качеством TQM и MES управления производством. Их бурное развитие заметно как по объему реализованных функций управления, так и по эффективности анализа изображений. Развитие методов анализа 2D-изображений, а также разработка методов получения и анализа 3D-изображений привели к расширению количества задач измерения и контроля, которые можно выполнять в промышленных условиях. Одновременно наблюдается увеличение набора контролируемых параметров и сокращение времени контроля. Автоматизация операций контроля с использованием систем КЗ обеспечивает сохранение повторяемости оценки параметров, характеризующих качество ИЭТ, и повышает эффективность оценки применительно к визуальному контролю, проводимому операторами. Развитие систем КЗ с оснащением их системами ввода-вывода, протоколами связи, интерфейсами HMI (Human-machine interface - решения, обеспечивающие взаимодействие человека-оператора с управляемыми им машинами) и базами данных позволяет интегрировать их непосредственно в системы промышленной автоматизации, системы контроля и управления качеством и производством.

Создание системы КЗ ИЭТ для 2D-изображений включает в себя выбор датчиков и оптики для достижения желаемого поля изображения и разрешения измерений. На основе исследований и инженерных знаний в системе могут быть реализованы алгоритмы контроля качества и измерения. Однако для систем 3D-изображений существуют некоторые ограничения из-за наличия аппаратного обеспечения, такого как массивы TOF высокого разрешения. Ограничения также возникают из-за самого метода автоматизированного съема изображений. Для каждой задачи проверки необходимо провести технико-экономическое обоснование и выбрать подходящий метод автоматизированного съема изображений. При построении гибридных систем автоматизированного съема изображений необходимо учитывать ограничения всех методов, используемых при построении образа ИЭТ.

Все более широкое использование систем КЗ в процессах контроля качества является результатом динамичного роста, наблюдаемого во многих областях науки

и техники. Наиболее существенное влияние на развитие всех методов автоматизированного съема изображений и их использование в системах контроля качества ИЭТ оказывают:

— развитие методов регистрации изображений определяется разработкой и наличием широкого спектра 2D-сенсоров, позволяющих осуществлять регистрацию видимого, инфракрасного и ультрафиолетового излучения, в том числе гиперспектральных камер после совмещения полей. Развитие технологий трехмерного автоматизированного съема изображений включает лазерную триангуляцию, стереовидение, структурированный свет, методы TOF, SFF (Shape from focus – метод трехмерной реконструкции, который заключается в использовании информации о фокусе оптической системы для обеспечения средств измерения трехмерной информации) и стереофотометрию;

— развитие оптики, которое привело к созданию линз для различных форматов датчиков, которые также позволяют получать изображения с различным разрешением, а также к появлению линз, специализированных для задач после измерения (например, телецентрических, изготовленных по индивидуальному заказу для выбранного поля зрения);

— разработка технических методов освещения и источников освещения для систем КЗ. Большая доступность осветителей позволяет подобрать решение контрольно-измерительной задачи;

— развитие процессорной электронной техники и интерфейсов связи, в том числе в промышленных системах, в первую очередь технологий USB Vision, Giga Vision и Camera Link, позволяют повысить частоту регистрации и анализа данных. USB Vision – стандарт интерфейса, описывающий спецификацию стандарта USB с особым акцентом на поддержку высокопроизводительных камер для USB 3.0 признан одним из самых быстродействующих стандартов камер для КЗ. Giga Vision – программно-технический метод сочетания гигапиксельной видеосъемки с широким полем обзора и детализацией с высоким разрешением. Camera Link – надежный и высокопроизводительный интерфейс для промышленных камер с высокой пропускной способностью и простотой использования;

— разработка алгоритмов анализа изображений, доступных в различных типах постпрограммирования для построения проектов в виде библиотек КЗ, доступных на используемых в настоящее время языках программирования.

В «Индустрии 4.0» большое внимание уделяется внедрению киберфизических систем для мониторинга производственных процессов. Цель – создать виртуальную копию реальных объектов для анализа данных и принятия решений. В Интернете вещей киберфизические системы позволяют строить каналы связи, позволяющие различным системам и людям работать вместе. В то же время данная деятельность требует крупных финансовых вложений (например, внедрение систем наблюдения и контроля производства, построение ИТ-инфраструктуры).

Радиоэлектронная промышленность движется к развитию «Индустрии 5.0», которая будет автономной и широко использовать человеко-машинные интерфейсы, в то же время уделяя большое внимание предотвращению образования отходов в производственных структурах, использованию вторичной переработки и значительно продлевая жизненный цикл ИЭТ.

С развитием систем контроля и измерения связано повышение эффективности производства и улучшение жизненного цикла ИЭТ за счет повышения ее качества. Это означает еще большее насыщение производственных линий оборудованием, позволяющим проводить многокритериальную оценку качества выпускаемых ИЭТ.

Наиболее значительным достижением в построении современных и перспективных промышленных систем контроля качества есть высокоскоростной контроль; мультиспектральная / гиперспектральная автоматизированного съема изображений при обнаружении браков / дефектов [22]. Использование методов 3D-изображения в задачах многомерного контроля ИЭТ также растет. Кроме того, в промышленных целях возникает создание гибридных систем контроля и измерения, которые сочетают в себе различные методы автоматизированного съема изображений (например, 2D-изображения в сочетании с 3D-изображениями и анализ многомерных изображений ИЭТ).

Процессы разработки систем КЗ можно разделить на две группы приложений. В первую группу входят более простые приложения, основанные на использовании готовых систем, поставляемых производителями. Эти приложения основаны на использовании интеллектуальных камер или датчиков КЗ различной степени сложности. Эти системы оптимизированы производителями и очень хорошо работают. Они массово используются на производственных линиях и в большинстве случаев не требуют обслуживания.

Вторая группа систем КЗ включает системы, изготовленные по индивидуальному заказу и предназначенные для конкретных задач контроля и пост-измерений. Однако эффективность этих систем сильно зависит от сотрудничества между компанией, создающей такую систему, и компанией, ее использующей. При подготовке таких систем КЗ, которые часто являются инновационными и уникальными, необходим надежный обмен информацией между разработчиком и пользователем систем.

Первым шагом, необходимым для подготовки эффективной системы автоматизированного контроля качества производства, является проведение предварительных исследований и разработка технико-экономического обоснования системы с учетом потребностей клиентов. Завершенное исследование и первоначальная стоимость внедрения должны показать пользователю, в какой степени будет выполнена задача. В то же время должно указываться на трудности внедрения системы КЗ для конкретной задачи проверки качества. Вопрос здесь в том, какие причины могут повлиять на эффективность системы.

Одной из причин может быть то, что не все новые технологии обработки изображений готовы к промышлен-

ному применению. Проблема может заключаться в очень разных рабочих параметрах систем КЗ. Например, слишком низкое разрешение изображений (например, TOF-изображение в промышленных приложениях) в настоящее время ограничено разрешением 640×480 пикселей – для многих приложений это слишком низкое разрешение. Другая причина – недостаточная устойчивость камер или методов съемки изображений к производственным воздействиям (например, рабочей температуре, вибрации, пыли и чрезмерной влажности). Другая причина заключается в том, что система КЗ не оснащена коммуникационными интерфейсами для обмена данными с промышленными контроллерами. Казалось бы, незначительная трудность связана с необходимостью преобразования сигналов через промежуточные устройства, что увеличивает стоимость внедрения и снижает надежность системы управления производством.

Еще одним препятствием может стать отношение инженерно-технического состава на производствах. Это обусловлено многолетним опытом работы с поставщиками оборудования для производственных линий. Это особенно важно в случае поставщиков оборудования, использующих системы КЗ. Невозможность быстрого устранения неисправности в работе системы КЗ влечет за собой конкретные финансовые потери. Эта ситуация заставила многие компании осознать, что системы КЗ сложны в обслуживании и ненадежны. Получатели поэтому осторожны и относятся к перспективным решениям со значительным недоверием. Здесь очевидна большая разница в оценке производительности лабораторных и промышленных систем. Например, эффективность систем КЗ на базе искусственного интеллекта в 80 – 90 % по-прежнему неприемлема во многих отраслях. Это связано с возможностью неправильной оценки качества более чем 10 % ИЭТ, что может привести к слишком большим финансовым потерям.

Поэтому крайне важно провести предварительные исследования и составить отчет с описанием рабочих параметров и ограничений системы. На этой основе можно определить условия, необходимые для эффективной работы системы автоматизированного съема изображений контроля качества, и принять решение о ее построении.

Последующая работа по внедрению системы автоматизированного съема изображений контроля качества также строится на сотрудничестве заказчика и проектировщика. Это связано с высокой вариативностью соответствующих материалов, технологий и компонентов, наблюдаемой на производственных линиях. Вся эта информация должна быть возвращена разработчику системы, который должен постоянно включать эту информацию в решение. Внедрение системы КЗ на производственной линии очень часто требует не только ввода в эксплуатацию системы КЗ, но и обновления рабочих программ многих устройств.

Таким образом, окончательный успех внедрения инновационных и передовых систем производственного видения зависит от многих параметров и сотрудничества инженеров, разрабатывающих ожидаемое решение.

Заключение

В мире информация об исследованиях и результатах применения систем КЗ для автоматизированного контроля качества ИЭТ на предприятиях имеется в большом объеме для различных решений. Реальных внедрений гораздо меньше. Но независимо, развитие разработки систем контроля качества с использованием технологий автоматизированного съема изображений представляется весьма динамичным. Это видно во многих научных публикациях, особенно касающихся сочетания технологий формирования изображений, использования новых типов видеосенсоров, использования новых технологий освещения и использования инноваций в прикладной оптике. В методах анализа изображений очевидно очень динамичное развитие алгоритмов на основе искусственного интеллекта. Однако многие промышленные приложения по-прежнему основаны на традиционных алгоритмах, которые уже много лет используются в системах КЗ.

Для использования систем автоматизированного съема изображений контроля качества в стандартных приложениях аппаратные и программные решения позволяют выполнять процесс контроля почти со 100 % эффективностью.

Однако столь высокая эффективность не может быть достигнута для задач контроля более высокой степени сложности. Это особенно заметно в приложениях, где разрабатываются новые аппаратные и программные решения в рамках подготовки к инновационным решениям. Повышение производительности системы управления на основе КЗ происходит постепенно за счет совершенствования и оптимизации внедряемых решений.

Это особенно важно в промышленных условиях и при наличии различных сбоев в работе производственных линий. Решение, подготовленное даже для одного и того же вида ИЭТ, но реализованное на другой производственной линии, часто требует фундаментальной переработки. Поэтому необходимо проявлять должную осторожность и хорошо понимать условия эксплуатации системы автоматизированного съема изображений контроля производства.

Однако, похоже, что независимо от стратегии, которая будет принята при дальнейшем развитии производственных процессов (например, «Индустрия 4.0», «Индустрия 5.0», «Умная индустрия» или какая-то новая концепция), системы КЗ станут решением для контроля за изготовлением и применением ИЭТ и оценки их качества по параметрам изготовления. Их наиболее важным преимуществом является объединение различной информации о параметрах ИЭТ на изображении, что является результатом возможности комбинировать методы автоматизированного съема изображений. В то же время на основе анализа одного изображения можно определить несколько параметров ИЭТ для оценки качества.

Литература:

- ГОСТ Р 53736-2009 «Изделия электронной техники. Порядок создания и постановки на производство. Основные положения».
- ГОСТ 18322-2016 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения».
- Marta Wolska, Tadeusz Gorewoda, Marek Roszak, Lesław Gajda, Implementation and Improvement of the Total Productive Maintenance Concept in an Organization, 2023.
- Tortorella G.L.; Fogliatto F.S.; Cauchick-Miguel P.A.; Kurnia S.; Jurburg D. Integration of Industry 4.0 technologies into Total Productive Maintenance practices. *Int. J. Prod. Econ.* 2021.
- Humayed A.; Lin J.; Li F.; Luo B. Cyber-Physical Systems Security – A Survey. *IEEE Internet Things J.* 2017, 4, 1802–1831.
- Ashibani Y.; Mahmoud Q.H. Cyber physical systems security: Analysis, challenges and solutions. *Comput. Secur.* 2017, 68, 81–97.
- Axelrod C.W. Managing the risks of cyber-physical systems. In *Proceedings of the 2013 IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference (LISAT)*, Farmingdale, NY, USA, 2013.
- Ватаманюк И.В., Яковлев П.Н.. «Обобщенные теоретические модели киберфизических систем». Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук. *Известия Юго-Западного государственного университета / Proceedings of the Southwest State University.* 2019; 23(6): 161-175.
- Broy M. *Cyber-Physical Systems*; Broy M., Ed.; Springer Berlin Heidelberg: Berlin / Heidelberg, Germany, 2010; ISBN 978-3-642-14498-1.
- Sioma A. Automated Control of Surface Defects on Ceramic Tiles Using 3D Image Analysis. *Materials* 2020, 13, 1250.
- Struzikiewicz G.; Sioma A. Evaluation of Surface Roughness and Defect Formation after The Machining of Sintered Aluminum Alloy AlSi10Mg. *Materials* 2020, 13, 166.
- Smith M.L.; Smith L.N.; Hansen M.F. The quiet revolution in machine vision – A state-of-the-art survey paper, including historical review, perspectives, and future directions. *Comput. Ind.* 2021, 130, 103472.
- Lenty B. Tree-ring growth measurements automation using machine vision. In *Proceedings of the Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2020*; SPIE: Bellingham, WA, USA, 2020; p. 30.
- Sioma A. Geometry and resolution in triangulation vision systems. In *Proceedings of the Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2020*; SPIE – International Society for Optics and Photonics: Bellingham, WA, USA, 2020; Volume 11581, pp. 264–271.
- Aquino A.; Ponce J.M.; Andújar J.M. Identification of olive fruit, in intensive olive orchards, by means of its morphological structure using convolutional neural networks. *Comput. Electron. Agric.* 2020, 176, 105616.
- Rout A.; Deepak B.B.V.L.; Biswal B.B.; Mahanta G.B. Weld Seam Detection, Finding, and Setting of Process

- Parameters for Varying Weld Gap by the Utilization of Laser and Vision Sensor in Robotic Arc Welding. IEEE Trans. Ind. Electron. 2022, 69, 622–632.
17. Laszlo R.; Holonec R.; Copîndean R.; Dragan F. Sorting System for e-Waste Recycling using Contour Vision Sensors. In Proceedings of the 2019 8th International Conference on Modern Power Systems (MPS), Cluj, Romania.
 18. Tehrani A.; Karbasi H. A novel integration of hyperspectral imaging and neural networks to process waste electrical and electronic plastics. In Proceedings of the 2017 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech), Phoenix, AZ, USA, 12–14 November 2022; pp. 1–5.
 19. EMIS. Global Machine Vision Market | Industrial Machine Vision Market; Frost & Sullivan; EMIS: Santa Clara, CA, USA, 2021.
 20. EMIS. Global Forecast for Machine Vision Market (2022–2027 Outlook)—High Tech & Emerging Markets Report; Barnes Reports; EMIS: Santa Clara, CA, USA, 2021.
 21. IFR. The World Robotics 2021 Industrial Robots Report; IFR: Frankfurt, Germany, 2021.
 22. Machine Vision Market Size - By Technology (PC-Based, Smart Camera-Based, Embedded), By Application (Inspection, Gauging & Measurement, Guidance & Navigation, Identification, Verification, Sorting & Packaging, Robotics), Component, End-Use & Forecast, 2023 – 2032.

УДК 543.51

АНАЛИЗ ГАЗОВОГО СОСТАВА СРЕДЫ ПОДКОРПУСНОГО ПРОСТРАНСТВА ЭКБ, ОКАЗЫВАЮЩЕГО ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТЬ ИЗДЕЛИЙ (ОБЗОР ИНФОРМАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ)

ANALYSIS OF THE GASEOUS COMPOSITION OF THE ENVIRONMENT IN THE SUB-CASE SPACE OF THE ECB, WHICH AFFECTS THE QUALITY AND RELIABILITY OF PRODUCTS (REVIEW OF INFORMATION MATERIALS)

Прокошева Д.А., инженер-испытатель 1 категории, **Серадзинов А.П.**, начальник лаборатории № 4 «ДНК и РФА», ФГБУ «ВНИИР», +7(495)586-17-21, prokosheva@vniir-m.ru

Prokosheva D.A., test engineer 1st category, **Seradzinov A. P.**, head of laboratory № 4 “DNA and XRF”, FGBI “VNIIR”, +7 (495) 586-17-21, prokosheva@vniir-m.ru

Аннотация. В статье рассмотрены основные вопросы повышения качества и надежности электронной компонентной базы путем проведения исследований влияния содержания влаги и различных газов внутри герметичных корпусов на работоспособность электронной компонентной базы.

Annotation. The article examines the main issues of determining the quality and reliability of electronic components by conducting studies of the content of various gases inside sealed housings for the operability of the electronic component base.

Ключевые слова: объемная доля влаги, состав газовой среды, электронная компонентная база, микросхема, подкорпусное пространство, полупроводниковый прибор.

Keywords: concentration of water vapor, composition of the gas environment, electronic component base, microcircuit, semiconductor device.

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

Введение

Исследование влияния влаги и различного содержания газов в подкорпусном пространстве электронной компонентной базы (далее – ЭКБ) на работу электронных устройств является важной задачей в области электроники и микроэлектроники. Влага и газы, такие как кислород, водород, аммиак, углеводороды, аргон, углекислый газ и прочие, могут оказывать отрицательное воздействие на работу электронных устройств, вызывая различные виды коррозии, окисление и другие процессы, которые могут привести радиоэлектронную аппаратуру в неработоспособное состояние.

Специалистами ФГБУ «ВНИИР» был проведен анализ зарубежных и отечественных научно-технических публикаций в области исследований влияния различных газов на работу электронных устройств.



Прокошева Д.А.



Серадзинов А.П.

В результате анализа установлено, что работоспособность различных типов ЭКБ зависит от защиты, обеспечиваемой герметичным корпусом. Наличие веществ в герметичном подкорпусном пространстве ЭКБ и воздействие на них механических, химических или температурных факторов в экстремальных условиях при эксплуатации

после герметизации электронных устройств могут создать уникальную агрессивную внутреннюю атмосферу.

Основная часть

С самого начала развития микроэлектроники содержание влаги внутри корпусов ЭКБ, имеющих свободный внутренний объем, было одним из основных факторов, требующих контроля. По некоторым причинам, связанным с производительностью (ток утечки) или надежностью (риск электрохимической коррозии), необходимо было обеспечить низкое содержание влаги внутри корпусов ЭКБ. Это требование необходимо для обеспечения высокой надежности при продолжительной эксплуатации и длительном хранении. Выполнение требований по содержанию влаги в подкорпусном пространстве ЭКБ очень важно при их применении в ракетно-космической технике [1].

В зависимости от типа ЭКБ наличие влаги, адсорбция водорода, кислорода, углеводородов, аммиака и других летучих веществ могут ухудшить или нарушить работу ЭКБ. Механизмы отказов, такие как коррозия, утечки тока, электрическая неустойчивость, дендритный рост, электромиграция металлов и т. п., вызваны, как правило, присутствием вышеперечисленных микропримесей.

Нежелательными способны стать примеси в газовой среде, используемой при герметизации корпусов. Эти вещества могут испаряться из материалов внутри корпуса ЭКБ вследствие температурных воздействий при обработке после герметизации. Летучие вещества проникают под корпус ЭКБ через пути утечки из-за некачественной герметизации или в результате термических и механических напряжений, снижающих целостность герметичного соединения [2].

Рассмотрим влияние влаги и различного содержания газов на работоспособность ЭКБ более подробно:

1) Воздействие паров воды (влаги)

Влага является одной из основных причин отказов негерметичных ЭКБ [3]. Для повышения долгосрочной работоспособности микросхем и их защиты от неблагоприятных воздействий окружающей среды кристаллы монтируются в герметичные корпуса, что позволяет использовать микросхемы при повышенной температуре и влажности в течение длительного времени. Необходимо упомянуть, что влага – это форма водяного пара, содержание воды в жидком состоянии.

Интенсивность физических и химических процессов, обуславливающих воздействие влаги на работоспособность ЭКБ, связана не только с активностью воды как растворителя и катализатора, но и с капиллярным эффектом и её способностью смачивать поверхность материалов. Исследования показывают, чем выше температура воды, тем выше степень смачивания поверхности и проникновение в микротрещины в местах спаев разнородных материалов. Например, при повышении температуры от плюс 20 °С до плюс 80 °С вязкость воды уменьшается почти в 3 раза, поверхностное натяжение – более чем в 2 раза. Повышение температуры также приводит к возрастанию

способности воды к растворению различных элементов и ее химической активности, коэффициент самодиффузии увеличивается более чем в 3 раза [4].

Пары воды в виде конденсата, адсорбента или пара оказывают значительное влияние на надежность всех типов герметизированных устройств. В виде конденсата они способствуют коррозии металла. Как адсорбент они способствуют поверхностной утечке электрического тока и электрохимической коррозии токоведущих элементов конструкции, электрической нестабильности или дендритному росту металла. Пары воды повышают внутреннее давление газа, обеспечивающего герметизацию корпуса.

Также при наличии паров воды в подкорпусном пространстве ЭКБ возникает такое явление как электромиграция (электромиграция), заключающееся в том, что в металлических проводниках в определенных условиях при прохождении постоянного тока большой плотности (около $10^6 \text{ A} \cdot \text{cm}^2$) наблюдается перенос материала проводника из района отрицательного контакта к положительному. В результате этого в области отрицательного контакта создаются обедненные участки и пустоты, а в районе положительного контакта происходит накопление металла, в отдельных местах образуются «бугорки», вырастают металлические «усы» и «метелки» (рис. 1), увеличивая локальную напряженность поля в этом месте [3].

Возрастающее влияние на напряженность поля приводит к появлению характерного дендритного (древовидного) роста металлического осадка на катоде, приводящее, в конечном итоге, к исчезновению анодного металла или, что более вероятно, к образованию короткого замыкания, вызывающего сбой работы ЭКБ, изготовленной в корпусах, имеющих свободные внутренние объемы.

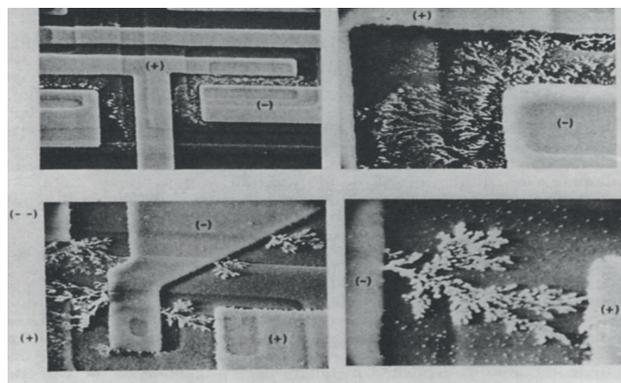


Рис. 1. Электролитическая коррозия золота.
Токопроводящие линии в присутствии влаги и хлора

Три монослоя адсорбированной воды являются пороговым условием возникновения утечки электрического тока через поверхность. Пороговое условие для адсорбции трех монослоев молекул воды на поверхности из замкнутого пространства составляет 5000 частей на миллион по объему водяного пара ($\text{ppmv} = 0,5$ объемного процента) [5]. Температура точки росы, при которой образуется конденсат в закрытом объеме при давлении, равном одной атмосфере, и концентрации водяного пара 5000 ppmv, составляет минус 2 °С [6].

В качестве максимально допустимого содержания влаги в герметичных микросхемных устройствах согласно действующим международным и отечественным документам по стандартизации принята концентрация водяного пара 5000 ppmv.

2) Воздействие кислорода

Ранние работы с компонентами, прикрепляемыми припоем, выявили режим отказа, при котором кислород в свободном пространстве проникал в микротрещины или точечные отверстия в припое, обнаженные на линии соединения по периферии компонента и окислял внутренние поверхности. Наличие оксидов вызывало различия в коэффициентах теплового расширения и появлению механических напряжений между корпусом и установленным компонентом во время термоциклирования, тем самым ослабляя прочность паяного соединения компонентов [5].

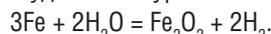
Данный фактор привел к формированию требований по ограничению концентрации кислорода внутри корпусов микросхем. Согласно единственному другому ограничению, установленному стандартом MIL PRF 19500P [7] для летучих веществ в герметичных корпусах, концентрация кислорода внутри корпусов микросхем должна быть не более 2000 ppmv.

3) Воздействие водорода

Водород может возникать внутри электронных корпусов под воздействием высоких температур, электрического тока или других факторов в результате электрохимических реакций, таких как электролиз воды (при наличии влаги в подкорпусном пространстве) или реакции металлов с кислородом. Например, в процессе взаимодействия металлов с влагой и кислородом воздуха может образовываться водород. Подобное может произойти при недостаточной защите корпусов от внешних воздействий или при нарушении герметичности.

Например, при использовании сплава ковар (Fe-Ni-Co), не имеющего специального защитного покрытия, в качестве крышки корпуса микросхемы под воздействием высоких температур, электрического тока или других факторов происходит химическая реакция при разложении кислот или электролитов, что приводит к образованию газов и электролизу воды в подкорпусном пространстве, в результате чего выделяется водород [5].

Так, при реакции железа и воды при нагревании образуется основной оксид (кобальт и никель с водой не взаимодействуют). Если мы возьмем 3 моля железа и 2 моля воды, в результате взаимодействия мы получим двуокись железа и водород в газообразной форме. Реакция между железом и водой будет иметь уравнение:



Водород чрезвычайно подвижен. Он быстро диффундирует к скрытым межуровневым диэлектрическим границам в структуре электрических устройств, где собирается, создавая неравномерное распределение заряда и сдвиг порогового напряжения.

Также водород реагирует с оксидами металлов с образованием водяного пара в качестве побочного продукта [5].

В зависимости от химического состава сплава и площади его поверхности концентрация водорода, образующегося из водяного пара, может быть значительной. Поскольку свободная энергия реакции зависит от температуры, высокая температура окружающей среды может стимулировать реакцию и повышать уровень влажности в корпусе.

4) Воздействие аммиака

Некоторые эпоксидные клеи, используемые для крепления компонентов, содержат отвердитель 2-цианогуанидин $\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_4$, (дициандиамида). Если такой клей не полностью отвержден перед герметизацией, а тщательно прокален после герметизации для испарения побочных продуктов отверждения, повышенные температуры после герметизации приведут к выделению побочных продуктов в свободное пространство. Аммиак NH_3 является побочным продуктом разложения $\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_4$ [5].

Если в корпусе содержится летучий аммиак в сочетании с высокой влажностью и происходит конденсация, NH_3 растворяется, конденсат образует гидроксид аммония (NH_4OH), повышая водородный показатель (pH) конденсата и потенциал химического воздействия. Установлено, что даже когда содержание влаги соответствует пределу 0,5 %, аммиак в паровой фазе способствует росту дендритов драгоценных металлов [5].

5) Воздействие органики (углеводороды)

Летучие углеводородные соединения создают тяжелую внутреннюю атмосферу при конденсации или адсорбции на влажных поверхностях, что может привести к утечке тока [5].

Большинство органических материалов гигроскопичны, то есть достаточно проницаемы к влаге, что способствует ее выделению при нагреве. На рис. 2 показана степень адсорбции для различных материалов с течением времени [3].

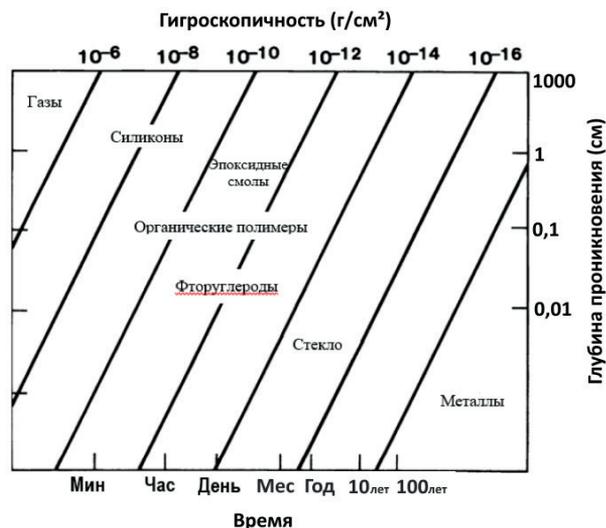


Рис. 2. Степень адсорбции для различных материалов

6) Воздействие аргона

Известны случаи, когда паянные соединения внутри корпусов микросборок отрывались от подложек в след-

ствии окисления, вызванного наличием смеси аргона и кислорода внутри корпусов ЭКБ [5].

7) Воздействие углекислого газа

Углекислый газ растворяется в воде, образуя слабую угольную кислоту, которая немного снижает pH водного конденсата. Некоторым механизмам коррозии может способствовать повышенная кислотность конденсата из-за растворенного в конденсате диоксида углерода.

Анализ отказов микроэлектромеханических систем и датчиков, реализованных на кристаллах в герметичных корпусах (далее – МЭМС) с заклинившими шестернями выявил крошечные кристаллы на зубьях шестерен [5]. Размеры элементов МЭМС составляют как правило от 20 мкм до 1 мм. Газовая хроматография / масс-спектрометрия определила отложения как бегенонитрил, $[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}] \text{CN}$, которые заклинивали зубья шестерни, вызывая выход устройства из строя. Химический анализ показал наличие этих соединений в материале крепления элементов ЭКБ. Обычно содержание летучих углеводородов не более 0,18 % не вызывает беспокойства для большинства герметиков, но этот уровень может стать серьезной проблемой для МЭМС.

Требования нормативных документов в области содержания газовой среды

В настоящее время международная практика измерений содержания газовой среды внутри корпусов ЭКБ ос-

нована на применении масс-спектрометрического метода, так как он позволяет наиболее точно и с относительно низкими финансовыми затратами обеспечить его контроль.

Масс-спектрометрический анализ ЭКБ первоначально был направлен только на измерение объемной доли паров воды в корпусах для предотвращения возникновения коррозии конструктивных элементов ЭКБ. По мере накопления информации о работе и надежности ЭКБ, а также анализа данных масс-спектрометрии, были выявлены и другие летучие вещества, которые оказывают влияние на надежность работы микросхем [5].

Особое внимание в современных международных стандартах [8, 9] уделяется измерениям состава газовой среды внутри корпусов ЭКБ, так как различные газы (помимо воды) оказывают существенное влияние на безотказную работу ЭКБ в герметичных корпусах, имеющих свободные внутренние объемы (см. таблицу 1).

Потребность в анализе газов, образующихся в подкорпусном пространстве, растет с развитием технологий в области изготовления микросхем и полупроводниковых приборов. По мере развития технологий изготовления ЭКБ широкое распространение получило использование органических клеев (герметиков) для крепления или защитного покрытия компонентов. Масс-спектрометрия показала, что эти продукты часто содержат летучие вещества, которые образуют химически агрессивную внутреннюю среду.

Таблица 1
Требования международных стандартов по допустимому содержанию влаги и газов внутри корпусов микросхем

Наименование параметра	Предельное допустимое значение содержания влаги и газов внутри корпусов микросхем		
	MIL-STD-883	ORS SOP Mel-1053	ОСТ В 11 0998-99
Объемная доля влаги (H_2O)	не более 5000 ppmv ($< 0,5$ об. %)	не более 5000 ppmv ($< 0,5$ об. %)	не более 5000 ppmv ($< 0,5$ об. %)
Объемная доля кислорода (O_2)	не более 10000 ppmv ($< 1,0$ об. %)	не более 10000 ppmv ($< 1,0$ об. %)	–
Объемная доля фторуглеродов	не более 50 ppmv ($< 0,005$ об. %)	не более 50 ppmv ($< 0,005$ об. %)	–

В настоящее время отечественные стандарты содержат требования только по максимально допустимому значению объемной доли влаги внутри корпусов микросхем, что может негативно сказаться на качестве и надежности ЭКБ в герметичных корпусах при их долгосрочной эксплуатации в условиях воздействия повышенной температуры окружающей среды.

Заключение

Представленный в статье анализ влияния влаги и различных газов в подкорпусном пространстве на работоспособность ЭКБ обуславливает целесообразность проведения исследований образования примесей в материалах, используемых при изготовлении ЭКБ, включая исследования по определению негативного влияния полимеров, эпоксидных смол, покрытий и клеев, используемых в производстве современной ЭКБ. Дегазация наполнителей,

растворителей или продуктов их реакций и их осаждение на внутренних поверхностях также являются факторами снижения надежности микроэлектронных устройств [5].

Развитие микроэлектроники обусловило необходимость применения различных газовых сред для корпусирования ЭКБ помимо азота.

Так, например, для изготовления микросхем приемопередатчиков с цифровыми интерфейсами с гальванической развязкой и напряжением изоляции не менее 2000 В потребовалось проведение герметизации в среде элегаза (SF_6).

Применяемые в настоящее время в Российской Федерации анализаторы влаги МКМ-1 и EDA-407 проводят измерения в азотной среде. Установки, которые могли бы определять объемные доли влаги в подкорпусном пространстве ЭКБ в среде элегаза отсутствуют.

Исследования влияния газов на работу электронных устройств помогут разработать методы защиты от нега-

тивных воздействий газов, а также повысить стабильность и надежность работы электронной аппаратуры. Такие исследования имеют важное значение для развития современных технологий и создания более надежных и долговечных электронных устройств.

На основании проведенного анализа и результатов исследований, полученных ФГУП «МНИИРИП» в 2021 году [10], для проведения исследований влияния газов на работу электронных устройств предлагается разработать экспериментальную отечественную установку, позволяющую проводить высокоточные измерения газового состава подкорпусного пространства ЭКБ.

Улучшенные метрологические характеристики (повышенная точность измерений) и новые технические возможности такой установки позволят проводить перспективные научные исследования в области:

- измерений объемной доли влаги для устройств, устойчивых к пробую при постоянном напряжении электрического тока не менее 2000 В, герметизированных в среде элегаза (SF₆);
- оценки влияния различных газовых сред на стабильность и качество работы микросхем и полупроводниковых приборов;
- повышения стабильности качества и оптимизации технологических процессов сборки микросхем и полупроводниковых приборов;
- исследований возможности применения новых материалов при изготовлении корпусов ЭКБ.

Литература

1. Puig O., Martinot C., Roustan P. Moisture ingress and absorption in a ccd package characterisation, modelisation and measurement / Proceedings of POLY'98 Mechanical reliability of polymeric materials & plastic packages of ic devices // Hotel Concorde Saint-Lazare, Paris, France November 29 - December 3, 1998, – 1 с.
2. Солодуха В., Ланин В., Керенцев А. «Проблемы обеспечения низкого уровня паров воды в корпусах интегральных схем». Компоненты и технологии, № 5 – 2015, – 150-155 с.
3. Rao R. Tummala, Eugene J. Rymaszewski, Alan G. Klopfenstein, Microelectronics packaging handbook, Semiconductor Packaging, PART II Second Edition, SPRINGER-SCIENCE+BUSINESS MEDIA, B.Y. – 1997. – II-880-890 с.
4. Чернышев А.А. «Основы надёжности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем» – М.: Радио и связь, 1988. – 69-70 с.
5. Lowry R. K., Richard, Kullberg R. C., Rossiter D.J. Harsh environments and volatiles in sealed enclosures / Surface Mount Technology Association International Technical Conference, October 24-28, 2010, Orlando, FL, PP. – 380-386 с.
6. Rossiter D.J., Schuessler P. Outgassing Species In Optoelectronic Packages / The International Journal of Microcircuits and Electronic Packaging, Volume 24, Number 2, Second Quarter 2002. – 240-245 с.
7. MIL PRF 19500P, Performance specification / Semiconductor devices, general specification for, 16 may 2012. – 71 с.
8. MIL-STD-883L, Department of defense / Test method standard Environmental test methods for microcircuits / Part 1: Test methods 1000-1999, Method 1018.10, 16 September 2019. – 1-10 с.
9. ORS, SOP: MEL-1053, Internal Vapor Analysis of Microelectronic Devices, Rev 1 - 28 July 1999. – 1-4 с.
10. Серадзинов А.П., Погосов Г.С., Подъяпольский Б.С., Злобин И.С. «Контроль содержания паров воды в подкорпусном пространстве интегральных микросхем, многокристальных модулей и микросборок, исследование основных проблем и путей их решения» // Радиоэлектронная отрасль проблемы и их решения, 2021. – № 3. – С. 8 – 11.

УДК 2.2.10

КОНТРОЛЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ОБЯЗАТЕЛЬНЫХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

CHECKING THE PERFORMING THE OBLIGATORY METROLOGICAL REQUIREMENTS TO PROVISION UNITY MEASUREMENTS PARAMETER AND FEATURES OF THE UNDER DEVELOPMENT TECHNICAL OBJECT

Храменков В.Н., д. т. н., **Храменков А.В.**, к. т. н., ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, +7 (985) 765-66-75, +7 (915) 033-71-17 ; hvn2012@mail.ru; hav1978@rambler.ru

Khramenkov V.N., d. t. s., **FSBI «MSHC» of Russian Federation Ministry of Defense**, **Khramenkov A.V.**, k.t.s., **FSBI «MSHC» of Russian Federation Ministry of Defense**, +7 (985) 765-66-75, +7 (915) 033-71-17; hvn2012@mail.ru; hav1978@rambler.ru

Аннотация. В статье проведен анализ контроля выполнения обязательных метрологических требований к обеспечению единства измерений параметров и характеристик разрабатываемого технического объекта. Определены требования к контролю обоснованности и правильности установления обязательных метрологических требований к обеспечению единства измерений параметров и характеристик разрабатываемого технического объекта.

Annotation. *In article is organized analysis of the checking the performing the obligatory metrological requirements to measurements parameter and features of the under development technical object. The Broughted requirements to checking validly and correctness of the determination of the obligatory metrological requirements to measurements parameter and features of the under development technical object.*

Ключевые слова: обязательные метрологические требования, технический объект, параметр технического объекта, характеристика технического объекта, измерения, контроль.

Keywords: obligatory metrological requirements, technical object, parameters, feature, measurements, checking.

Научная специальность: 2.2.10 Метрология и метрологическое обеспечение.

Введение

Номенклатура обязательных метрологических требований к обеспечению единства измерений как к процессу, связанному с разрабатываемым техническим объектом, включает:

обязательные метрологические требования к прослеживаемости результатов измерений параметров и характеристик технического объекта, средствам измерений к государственным первичным эталонам единиц величин, разработке недостающими рабочими эталонами единиц величин, средствами измерений и вспомогательным оборудованием, необходимыми для выполнения требований к прослеживаемости результатов измерений. Под параметром технического объекта понимается величина, определяющая его конкретное свойство и его составные части [1], а характеристика технического объекта отражает, как установлено в [2], его функциональные, геометрические, деформационные, прочностные и другие свойства назначения, конструкции, материалов технического объекта и т. д.;

обязательные метрологические требования к организации поверки средств измерений (измерительных каналов измерительных систем), с минимальным исключением их из применения, снижающим готовность технического объекта к использованию по назначению, к бездемонстрационной поверке средств измерений, встроенных в технический объект, сокращенной поверке средств измерений только по параметрам (величинам) и диапазонам измерений, установленным эксплуатационной документацией объекта, согласованности интервалов между поверками средств измерений с периодичностью технического обслуживания технического объекта;

требования к организации и проведению обязательной метрологической экспертизы технического объекта и технической документации на него и метрологической экспертизы в соответствии с порядком, установленным в [3].

Основная часть

При контроле обоснования и установления обязательных метрологических требований к обеспечению единства измерений, точности и достоверности результатов измерений параметров и характеристик разрабатываемого технического объекта в эксплуатации должна быть определена процедура обеспечения единства измерений в процессе его разработки путем прослеживаемости результатов измерений и средств измерений по каждому измеряемому параметру и характеристике к соответствующему эталону и (или) государственному первичному эталону единицы величины.



Храменков В.Н.



Храменков А.В.

При контроле наличия прослеживаемости результатов измерений и средств измерений к государственным первичным эталонам единиц величин по каждому измеряемому параметру и характеристике технического объекта должны подтверждаться результатами обязательной метрологической экспертизы и метрологической экспертизы, проводимой на стадии его разработки.

В случае отсутствия необходимых для обеспечения прослеживаемости отдельных рабочих эталонов единиц величин, выявленного при проведении контроля (метрологической экспертизы) и отраженного в экспертном заключении, сведения об этом должны доводиться до соответствующего доводящего органа, по заказу которого разрабатывается технический объект.

Контроль особенностей обеспечения единства измерений параметров и характеристик технического объекта должен соответствовать [4]. При контроле выполнения процедуры аттестации методик измерений параметров и характеристик технического объекта и методик измерений в составе методик испытаний должны выполняться операции в соответствии с [5], а средства измерений (включая измерительные каналы измерительных систем) и стандартные образцы должны иметь утвержденный тип в соответствии с порядком, установленным в [6]. Для средств измерений, в том числе измерительных каналов измерительных систем, которыми комплектуется разрабатываемый технический объект, или которые встраиваются в его конструкцию, должно проводиться подтверждение проведения их поверки до начала прохождения государственных испытаний разрабатываемого объекта.

В эксплуатационной документации разрабатываемого объекта должен быть приведен Перечень средств измерений, подлежащих периодической поверке в процессе его эксплуатации, с указанием их наименования, типа и заводского номера, даты поверки и срока очередной поверки. В этой документации также должен быть приведен перечень средств измерений, отнесенных к индикаторам (при их

наличии), с соответствующими обоснованиями. Контроль выполнения этого требования должен проводиться при проектировании объекта расчетно-экспериментальными методами и оцениваться в ходе обязательной метрологической экспертизы и государственных испытаний.

При разработке методик поверки средств измерений, первичных измерительных преобразователей, встраиваемых в разрабатываемый объект и не подлежащих извлечению для их периодической поверки, должна предусматриваться конструктивно и методически их бездемонтажная поверка. При ее невозможности такие средства должны сохранять в допустимых пределах свои показатели точности, установленные их поверкой перед встраиванием в разрабатываемый технический объект, в течение его полного срока службы или до капитального ремонта (модернизации). Контроль выполнения этого требования должен подтверждаться при проектировании объекта расчетно-экспериментальными методами и оцениваться в ходе его обязательной метрологической экспертизы и государственных испытаний.

При контроле обоснованности и правильности установления обязательных метрологических требований к обеспечению единства измерений параметров и характеристик технического объекта, задаваемых в техническом задании (ТЗ) на опытно-конструкторскую работу (ОКР) по его созданию, могут использоваться экспертный, расчетный и расчетно-экспериментальный методы контроля.

Для оценки погрешности характеристики технического объекта ее искомое значение A определяется на основании результатов измерений ее аргументов $a_1, \dots, a_i, \dots, a_m$, связанных с искомым значением A уравнением [6]:

$$A = f(a_1, \dots, a_i, \dots, a_m). \quad (1)$$

Функция $f(\dots)$ должна быть известна из теоретических предпосылок или установлена экспериментально с погрешностью, которой можно пренебречь. Результаты измерений аргументов и оценки их погрешностей могут быть получены из прямых, косвенных, совокупных, совместных измерений.

Искомое значение величины A в общем случае связано с m измеряемыми аргументами a_1, a_2, \dots, a_m и при отсутствии корреляции между погрешностями измерений ее аргументов определяется уравнением:

$$A = b_1 \cdot a_1 + b_2 \cdot a_2 + \dots + b_m \cdot a_m, \quad (2)$$

где b_1, b_2, \dots, b_m - постоянные коэффициенты при аргументах a_1, a_2, \dots, a_m , соответственно.

Результат косвенного измерения значения \tilde{A} определяется по формуле:

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^m b_i \cdot \tilde{a}_i, \quad (3)$$

где \tilde{a}_i - результат измерения аргумента a_i ,
 m - число аргументов.

Среднее квадратическое отклонение результата косвенного измерения $S(\tilde{A})$ определяется по формуле:

$$S(\tilde{A}) = \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2 \cdot S^2(\tilde{a}_i)}, \quad (4)$$

где $S(\tilde{a}_i)$ - среднее квадратическое отклонение результата измерения аргумента a_i .

Если коэффициенты b_1, b_2, \dots, b_m определяются экспериментально, то задача определения результата измерения величины $S(\tilde{A})$ решается поэтапно: сначала оценивают каждое слагаемое $b_i \cdot a_i$ как косвенно измеряемую величину, полученную в результате произведения двух измеряемых величин, а потом находят оценку измеряемой величины A .

Доверительные границы случайной погрешности результата косвенного измерения при условии, что распределения погрешностей результатов измерений аргументов не противоречат нормальному распределению, вычисляют (без учета знака) по формуле [6]:

$$\varepsilon(p) = t_q \cdot S(\tilde{A}), \quad (5)$$

где t_q - коэффициент Стьюдента, соответствующий доверительной вероятности $P = 1 - q$ и числу степеней свободы $f_{зф}$.

Контроль обоснованности и правильности установления обязательных метрологических требований к измерениям параметров (характеристик) объекта, к которым установлены обязательные метрологические требования, включая показатели точности измерений, и выполняющие их средства измерений технического объекта, должны быть отнесены головным исполнителем ОКР к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений с обоснованием и правильным установлением к ним обязательных метрологических требований.

Доверительные границы случайной погрешности результата косвенного измерения при условии, что распределения погрешностей результатов измерений аргументов не противоречат нормальным распределениям, вычисляют (без учета знака) по формуле:

$$\varepsilon(p) = t_q \cdot S(\tilde{A}), \quad (6)$$

где t_q - коэффициент Стьюдента, соответствующий доверительной вероятности $P = 1 - q$ и числу степеней свободы $f_{зф}$, вычисляемому по формуле [6]:

$$f_{зф} = \frac{\left(\sum_{i=1}^m b_i^2 S^2(\tilde{a}_i) \right) - 2 \left(\sum_{i=1}^m \frac{b_i^4 \cdot S^4(\tilde{a}_i)}{(n_i + 1)} \right)^2}{\sum_{i=1}^m \frac{(b_i^4 \cdot S^4(\tilde{a}_i))}{(n_i + 1)}}, \quad (7)$$

где n_i - число измерений при определении аргумента a_i .

Если неисключенные систематические погрешности результатов измерений аргументов заданы границами θ_i , то доверительные границы неисключенной систематической погрешности результата косвенного измерения $\Theta(p)$ (без учета знака) при вероятности P вычисляются по формуле:

$$\Theta(p) = k \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m b_i^2 \cdot \Theta_i^2}, \quad (8)$$

где k – поправочный коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью P и числом m составляющих Θ_j .

При доверительной вероятности $P = 0,95$ поправочный коэффициент k принимается равным 1,1. При доверительной вероятности $P = 0,99$ поправочный коэффициент принимается равным 1,4, если число суммируемых составляющих $m > 4$. Если же число составляющих $m \leq 4$, то поправочный коэффициент принимается равным $k \leq 1,4$, где m – число суммируемых составляющих (аргументов).

Для обеспечения единства измерений, точности и достоверности результатов измерений параметров и характеристик технического объекта в процессе его эксплуатации должна быть определена при его разработке прослеживаемость результатов измерений и средств измерений по каждому измеряемому параметру и характеристике объекта к соответствующему эталону единицы величины и (или) государственному первичному эталону единицы величины. Наличие прослеживаемости результатов измерений и средств измерений к государственным первичным эталонам единиц величин по каждому измеряемому параметру или характеристике технического объекта должно подтверждаться результатами обязательной метрологической экспертизы и метрологической экспертизы, проводимой на стадии его разработки.

Методики измерений параметров и характеристик технического объекта, а также методики измерений в составе методик испытаний должны быть аттестованы, а средства измерений, включая измерительные каналы измерительных систем и стандартные образцы, должны иметь утвержденный тип [6]. При контроле разработки методик поверки средств измерений (преобразователей, датчиков), встраиваемых в технический объект и не подлежащих извлечению для их периодической поверки, должна предусматриваться конструктивно и методически их бездемонтажная поверка. При ее невозможности, такие средства измерений должны сохранять свои показатели точности в допустимых пределах, установленные их поверкой перед встраиванием в технический объект в течение его полного срока службы или до капитального ремонта (модернизации). Выполнение этого требования необходимо подтверждать при проектировании технического объекта расчетно-экспериментальными методами и оцениваться в ходе обязательной метрологической экспертизы и государственных испытаний.

Бездемонтажная поверка встраиваемых в технический объект средств измерений при возможности и технико-экономической целесообразности ее реализации должна предусматриваться головным исполнителем ОКР и для других средств измерений. Интервал между поверками средств измерений, выбираемых (разрабатываемых) для комплектации объекта, должен соответствовать интервалу его технического обслуживания.

Организация поверки измерительных каналов измерительной системы, являющейся частью системы управления техническим объектом, должна устанавливаться

после оценки реализуемости и технико-экономических показателей следующих вариантов:

а) комплектной (сквозной) бездемонтажной поверки всего канала, включая первичный измерительный преобразователь;

б) отдельной бездемонтажной поверки первичного измерительного преобразователя (с унифицированным электрическим сигналом на выходе) утвержденного типа по методике его поверки и поверки остальной части измерительного канала утвержденного типа по своей методике поверки;

в) поверки отдельных измерительных компонентов измерительного канала, имеющих утвержденный тип и необеспеченных бездемонтажной поверкой, с их изъятием из системы управления техническим объектом;

г) бездемонтажной поверки аналого-цифровой (цифровой) части канала и определению действительных значений метрологических характеристик первичного измерительного преобразователя, недоступного для поверки без разрушения технического объекта, для установления значений его показателей точности измерений, которые должны сохраняться в допустимых пределах в течение всего срока службы измерительного канала.

В измерительной системе, при возможности, должен обеспечиваться режим самоповерки по встроенным мерам (преобразователям) и (или) контроль работоспособности в интервале между поверками. При контроле обоснованности и установления обязательных метрологических требований к обеспечению единства измерений, точности и достоверности результатов измерений параметров и характеристик разрабатываемого технического объекта в его эксплуатации должна быть подтверждена установленная разработчиком процедура обеспечения единства измерений в процессе его разработки путем прослеживаемости результатов измерений и средств измерений по каждому измеряемому параметру и характеристике к соответствующему эталону единицы величины и (или) государственному первичному эталону единицы величины.

При контроле выполнения обязательных метрологических требований к обеспечению единства измерений должно подтверждаться наличие прослеживаемости результатов измерений и средств измерений к государственным первичным эталонам единиц величин по каждому измеряемому параметру или характеристике объекта на основе результатов обязательной метрологической экспертизы и метрологической экспертизы, проводимой на стадии разработки технического объекта.

Контроль особенностей обеспечения единства измерений параметров и характеристик разрабатываемого технического объекта должен соответствовать документу [4]. При контроле подтверждения аттестации методик измерений параметров и характеристик технических объектов и методик измерений в составе методик испытаний должны выполняться операции в соответствии с [5], а средства измерений (включая измерительные каналы измерительных систем) и стандартные образцы должны иметь утвержденный тип.

Заключение

Для средств измерений, в том числе измерительных каналов измерительных систем, которыми комплектуется разрабатываемый объект, или которые встраиваются в его конструкцию, должно проводиться подтверждение проведения их поверки до начала прохождения государственных испытаний разрабатываемого объекта.

Литература

1. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26 июня 2008 года №102-ФЗ.
2. Грачев П.С. «Тактико-технические характеристики – совокупность качественных и количественных параметров изделия военной техники или вооружения, описывающая его свойства (как эксплуатационные, так и боевые)». // Военная энциклопедия // – М. , Воениздат, 2004-т. 8, С.18.
3. Приказ Минпромторга России № 4091 от 15.12.2015 г. «Порядок аттестации первичных референтных методик (методов) измерений, референтных методик (методов) измерений и методик (методов) измерений и их применения».
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 02 октября 2009 г. № 780 «Об особенностях обеспечения единства измерений при осуществлении деятельности в области обороны и безопасности Российской Федерации».
5. ГОСТ Р 8. 563 - 2009. «Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений».
6. МИ 2083-90. «Рекомендация. ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей».



КРУГЛЫЙ СТОЛ В ОБЛАСТИ СТАНДАРТИЗАЦИИ НА ВЫСТАВКЕ – ФОРУМ «ЭЛЕКТРОНИКА РОССИИ»

Козлов И.П., директор центра стандартизации и испытаний – заместитель генерального директора ФГБУ «ВНИИР»
+7(919) 729-73-80, kozlov@vniir-m.ru

28 ноября 2024 года в городе Москве в «Крокус Экспо» проведен Круглый стол «**Концепция системы стандартизации радиоэлектронной продукции гражданского назначения**». Организатором Круглого стола выступило Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиоэлектроники» (ФГБУ «ВНИИР»).

С целью повышения объективности, обоснованности и учета мнений по проблемам стандартизации в отрасли и путей их решения ФГБУ «ВНИИР» организует проведение круглых столов. В связи с чем очень важны взаимоувязка и детализация направлений и предлагаемых путей развития системы стандартизации радиоэлектронной промышленности с предприятиями (организациями), формирующими

современный и перспективный облик ключевых областей ее развития и перспективных направлений применения.

С приветствием и вступительным словом выступил модератор мероприятия, ректор Федерального государственного автономного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Академия стандартизации, метрологии и сертификации», доктор экономических наук **Зажигалкин Александр Владимирович**. Он отметил, что правовые документы Российской Федерации, а также руководство Минпромторга России относят стандартизацию к серьезным инструментам в решении задач развития и технологической независимости радиоэлектронной отрасли и определяют цели и направления ее совершенствования.

На основе формирования указанных целей, анализа международных документов, трендов развития ключевых направлений радиоэлектронной продукции, технологий, оборудования, специальных материалов и средств измерений ФГБУ «ВНИИР» сформулирована **Концепция системы стандартизации радиоэлектронной продукции гражданского назначения**.

Основные положения документа в своём выступлении доложил директор центра стандартизации и испытаний – заместитель генерального директора ФГБУ «ВНИИР» **Козлов Игорь Павлович**.

С докладами выступили, генеральный директор АНО Консорциум «Вычислительная техника», председатель Технического комитета по стандартизации «Вычислительная техника» (ТК 166) **Легостаева Светлана Сергеевна**, руководитель секции координации работ по управлению качеством, сертификации, техническому контролю и стандартизации в области ЭКБ МСГТ и ГК по ЭКБ, генеральный директор АО «ЦКБ «Дейтон» **Рубцов Юрий Васильевич**, кандидат технических наук, консультант по научной работе ФГБУ «ВНИИР» **Подъяпольский Сергей Борисович**, заместитель начальника отдела ФГБУ «ВНИИР» **Косьминов Игорь Вениаминович**.

В своих выступлениях докладчиками были освещены:

- основные положения Концепции системы стандартизации радиоэлектронной продукции гражданского назначения;

- место стандартизации в реализации перспектив развития вычислительной техники;

- позиционирование стандартизации как инструмента реализации ключевых направлений развития электроники;

- подходы к обеспечению поддержания производственной деятельности по изготовлению ранее освоенной продукции в условиях отмены в 2025 году действия документов вида «отраслевые стандарты» в соответствии с Федеральным законом «О стандартизации в Российской Федерации» от 29 июня 2015 года № 162-ФЗ;

- методология и анализ промежуточных результатов опроса организаций радиоэлектронной отрасли в области стандартизации;

- комплексный план мероприятий (Дорожная карта) реализации задач Концепции системы стандартизации радиоэлектронной продукции гражданского назначения.

Подводя краткие итоги работы Круглого стола можно констатировать то, что участники Круглого стола:

- **в целом одобрили** структуру, цели, задачи и предлагаемые принципы, положенные в основу формирования и реализации Концепции системы стандартизации радиоэлектронной продукции гражданского назначения;

- **поддержали** подход к порядку и принципам переработки отраслевых документов в документы по стандартизации других видов с целью обеспечения производственной деятельности по изготовлению продукции в условиях отмены действия документов вида «стандарты отраслей» в 2025 году (статья 35 Федерального закона «О стандартизации в Российской Федерации» от 29 июня 2015 года № 162-ФЗ);

- **признали необходимым концентрацию мероприятий в направлениях**, определенных нормативно-правовыми документами по обеспечению технологического суверенитета, включая задачи в области совершенствовании системы стандартизации применительно к электронной и радиоэлектронной продукции, специальному технологическому оборудованию, контрольно-измерительному и испытательному оборудованию, специальным материалам с учетом новых тенденций в развитии компонентов и модулей, технологий искусственного интеллекта, интернета вещей, фотоники, радиофотоники, квантовых технологий и технологий чиплетов;

- **поддержали необходимость обеспечения** при разработке комплексов стандартов по предметным областям внедрения принципов гармонизации и максимально возможной унификации документов по стандартизации гражданского, оборонного и специального применения на базовой основе создания комплекса документов гражданского назначения.

В обсуждении приняли участие заместитель генерального директора ФГБУ «Институт стандартизации» **Иванов Алексей Владимирович**, представители организаций промышленности. В результате обсуждений **рекомендовано** при дальнейшей отработке Концепции проработать необходимость и целесообразность:

- более детального описания формирования состава участников и принципов функционирования Комитета по стандартизации электронной и радиоэлектронной промышленности, обеспечения консенсуса мнений и учета интересов всех групп заинтересованных сторон (включая ТК, консорциумы, ассоциации и интегрированные структуры);

- представить подходы к реализации принципов достаточности, комплексности и взаимоувязки работ по стандартизации в определенных предметных областях и пути их реализации при формировании структуры, состава и перечня работ, включаемых в программы стандартизации по предметным областям;

- более детального описания категорий, комплексов стандартов и отдельных стандартов электронной и радиоэлектронной промышленности, подлежащих разработке при реализации Концепции...».

Участники Круглого стола в своих выступлениях подчеркнули особую важность проведения ФГБУ «ВНИИР» работ по формированию перечня ранее разработанных отраслевых документов по стандартизации (ОСТ, РД, РМ) и подходам к путям их дальнейшего использования, с учетом отмены в 2025 году действия документов вида «отраслевые стандарты» в соответствии с Федеральным законом «О стандартизации в Российской Федерации» от 29 июня 2015 года № 162-ФЗ.

Участники Круглого стола высказали слова благодарности его организаторам и выразили желание и в дальнейшем принимать участия в мероприятиях такого формата.

В этом выпуске научно-технического журнала «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения» в виде статей опубликованы материалы по тематической направленности Круглого стола, которые вызвали наибольший интерес у её участников.

ПЕРЕЧЕНЬ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ:
ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ» В 2024 ГОДУ

ФИО, название статьи	номер	страница
КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТИ		
<i>Денисов А.Н., Козлов В.В., Коняхин В.В.</i> Универсализация микросхем низкой степени интеграции при переносе их производства на современные технологические нормы	2024, № 1(13)	15
<i>Рубцов Ю.В., Малышев В.Э., Назаренко А.А.</i> Автоматизированный визуальный контроль качества изделий микроэлектроники методом сравнения шаблонов	2024, № 1(13)	18
<i>Дульский Г.И., Старостин С.В., Французов С.С.</i> Экспресс–метод определения коэффициента ускорения испытаний и энергии активации при оценке соответствия изделий электронной компонентной базы требованиям к надежности	2024, № 1(13)	22
Клиот А.Е. Фазовые переходы, эфир	2024, № 2(14)	15
<i>Залунаев М.Ю., Чистов А.С.</i> Специальные требования к системе менеджмента качества и электронной компонентной базе в автомобильной промышленности	2024, № 2(14)	21
<i>Шведов А.В.</i> Практические моменты проведения внутренних аудитов системы менеджмента качества поставщиков электронной компонентной базы	2024, № 2(14)	27
<i>Синельников Ю.Г., Рыбаков А.К., Денисова А.С.</i> Задание параметров условий окружающей среды для показателей безотказности корпусных полупроводниковых изделий	2024, № 3(15)	32
<i>Дормидошина Д.А.</i> Система управления надежностью на стадиях жизненного цикла электронной компонентной базы	2024, № 3(15)	36
<i>Синельников Ю.Г.</i> О значимости статистических оценок при испытаниях на надёжность	2024, № 4(16)	26
<i>Шведов А.В.</i> Совершенствование процесса входного контроля электронной компонентной базы, поставляемой для аппаратуры широкого спектра назначения	2024, № 4(16)	31
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ		
<i>Иванов И.С.</i> Анализ мировых технологических тенденций развития радиоэлектронной промышленности	2024, № 3(15)	3
<i>Иванов И.С., Трусов А.В.</i> Цифровая трансформация процессов информационной интеграции, информационного взаимодействия и информационной поддержки в систему научно-технологического развития отраслей радиоэлектронной промышленности	2024, № 3(15)	8
<i>Боков С.И., Гриневич С.Л., Пестун А.Г.</i> Вопросы оценки интероперабельности сложных технических систем	2024, № 3(15)	13
<i>Иванов И.С.</i> Принципы и подходы к формированию отраслевой системы информационного взаимодействия и информационной поддержки процессов развития и совершенствования системы стандартизации радиоэлектронной продукции гражданского назначения	2024, № 4(16)	2
<i>Иванов И.С., Кузнецов С.В., Трусов В.А.</i> Формирование системы информационного взаимодействия субъектов радиоэлектронной промышленности	2024, № 4(16)	9
РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ		
<i>Денисов А.Н.</i> Импортозамещение ПЛИС на примере отечественных полузаказных микросхем на БМК серий 5503 и 5507	2024, № 1(13)	2

ФИО, название статьи	номер	страница
<i>Амеличев В.В., Генералов С.С., Григорьев Д.М., Горелов Д.В., Никифоров С.В.</i> Оптимизация конструкции микронагревательного элемента для инфракрасного МЭМС излучателя	2024, № 1(13)	5
<i>Булгаков О.Ю.</i> Научно-методический подход при решении задач разработки технических требований к электронной продукции радиоэлектронной отрасли	2024, № 1(13)	10
<i>Стешенко В.Б., Шевченко П.Г., Лукьянов Е.М.</i> Методика оптимизации требований, предъявляемых к электронной компонентной базе в рамках постановки опытно-конструкторских работ	2024, № 2(14)	2
<i>Рубцов Ю.В., Дормидошина Д.А.</i> Применение моделей электронной компонентной базы	2024, № 2(14)	6
<i>Боднарук Л.Н., Матюхин Д.В., Милосердов С.С.</i> Основы совершенствования системы управления развитием электронной компонентной базой	2024, № 2(14)	12
<i>Торшин Р.С.</i> Методика исследования аналого-цифровых преобразователей различных архитектур при воздействии ионизирующего излучения космического пространства	2024, № 3(15)	15
<i>Денисов А.Н., Федоров Р.А.</i> Серия микросхем защиты от возникновения тиристорного эффекта	2024, № 3(15)	21
<i>Денисов А.Н., Федоров Р.А.</i> Серия микросхем гальванической развязки	2024, № 4(16)	18
<i>Амеличев В.В., Кадочкин А.С., Генералов С.С., Горелов Д.В.</i> Моделирование оптического логического элемента на основе многомодового интерференционного делителя 2x2	2024, № 4(16)	21
<i>Бондаренко А.С., Аскерко А.Н., Ковтун А.Ю.</i> Наблюдение формирования протяженных дефектов в кремнии в сканирующем электронном микроскопе в процессе отжига IN-SITU	2024, № 4(16)	14
СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ		
<i>Зажигалкин А.В., Козлов И.П., Колядин А.В.</i> Онтология предметной области как основа для разработки комплекса взаимосвязанных документов по стандартизации в радиоэлектронике	2024, № 1(13)	28
<i>Винокуров А.В., Алексеева Т.И., Зайцева Ю.А.</i> К вопросу о менеджменте рисков	2024, № 1(13)	32
<i>Быканов В.В., Подъяпольский С.Б., Есакова М.М., Тупицина А.В.</i> Метрологическое обеспечение измерений молярной (объемной) доли влаги под корпусом микросхем методом разрушающего контроля и пути его совершенствования	2024, № 2(14)	31
<i>Миронов Д.Е.</i> Основные изменения, внесённые в положение о стандартизации в отношении оборонной продукции, в 2024 году	2024, № 2(14)	35
<i>Шведов А.В.</i> Методика оценки и обоснования выбора поставщиков электронной компонентной базы	2024, № 3(15)	27
<i>Булгаков О.Ю., Подъяпольский С.Б., Ковганич Ю.В.</i> Об особенностях стандартизации в области технических требований к современным подходам при разработке и производстве электронной продукции	2024, № 4(16)	36
ЭКОНОМИКА ОТРАСЛИ		
<i>Подъяпольский С.Б., Булгаков О.Ю.</i> Методические рекомендации и требования к порядку проведения выездных проверок квалифицированных поставщиков ЭКБ	2024, № 1(13)	34
<i>Милосердов С.С., Пестун У.А., Хиль С.Ш., Эпенетосский В.Б.</i> Методический подход к оценке стоимостных показателей при сравнении оценке альтернативных вариантов развития ракетно-космической техники	2024, № 1(13)	36



ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

МИНПРОМТОРГ
РОССИИ

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

ФГБУ "ВНИИР"
в статусе головной научно-исследовательской
испытательной организации
Минпромторга России
в области ЭКБ имеет аттестат
аккредитации от 17.10.2017
№ RA.RU.312303
на право проведения
метрологической экспертизы
технической документации



Проведение
метрологической экспертизы
гарантирует:

- выпуск конкурентоспособной продукции высокого качества
- повышение экономической эффективности разработки новой продукции
- соответствие продукции нормативным требованиям в части метрологического обеспечения

- ✓ оценка правильности постановки и решения измерительной задачи
- ✓ анализ обоснованности установления допускаемых отклонений измеряемых (контролируемых) параметров
- ✓ анализ соответствия измеряемых (контролируемых) параметров и показателей точности
- ✓ оценка полноты и правильности изложения и реализуемости метрологических требований
- ✓ оценка полноты и правильности метрологического обеспечения испытаний продукции



+7 (495) 586-17-21 (1408)



г. Мытищи, ул. Колпакова, д. 2А



metrology@vniir-m.ru



www.vniir-m.ru



ВНИИР

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ



**СИСТЕМА ДОБРОВОЛЬНОЙ
СЕРТИФИКАЦИИ**

«ЭЛЕКТРОНСЕРТ»

Система добровольной сертификации радиоэлектронной аппаратуры, электронной компонентной базы и материалов военного, двойного и народнохозяйственного назначения «ЭЛЕКТРОНСЕРТ»

(рег. № РОСС.RU.B2618.04KMН0 от 07.04.2022)

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

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

**ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ И НАПРАВЛЕНИЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
СДС «ЭЛЕКТРОНСЕРТ» В ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДСТВА И РАСПРОСТРАНЕНИЯ
ГРАЖДАНСКОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОДУКЦИИ:**

- **сертификация** организаций радиоэлектронной промышленности;
- **сертификация** (аттестация) **производства** продукции гражданского назначения, оценка производственных процессов;
- **технологический аудит** производства и оценка соответствия продукции национальным стандартам;
- **сертификация организаций** (квалификация поставщиков), осуществляющих распространение электронной (радиоэлектронной) продукции;
- **система ранжирования поставщиков ЭКБ** (внедрение и ведение) для упрощения потребителям поиска и выбора партнёров;
- **энергетический менеджмент и бережливое производство.**



141002, Московская область, г.о. Мытищи, г. Мытищи, ул. Колпакова, д. 2А
+7 (495) 586-17-21 доб. 1368; 1373; e-mail: vniir@vniir-m.ru, сайт: vniir-m.ru



ВЕЧНАЯ ПАМЯТЬ ГЕРОЯМ!



80 лет ПОБЕДЫ



1941-1945

ПОМНИМ, ГОРДИМСЯ, БЛАГОДАРИМ

