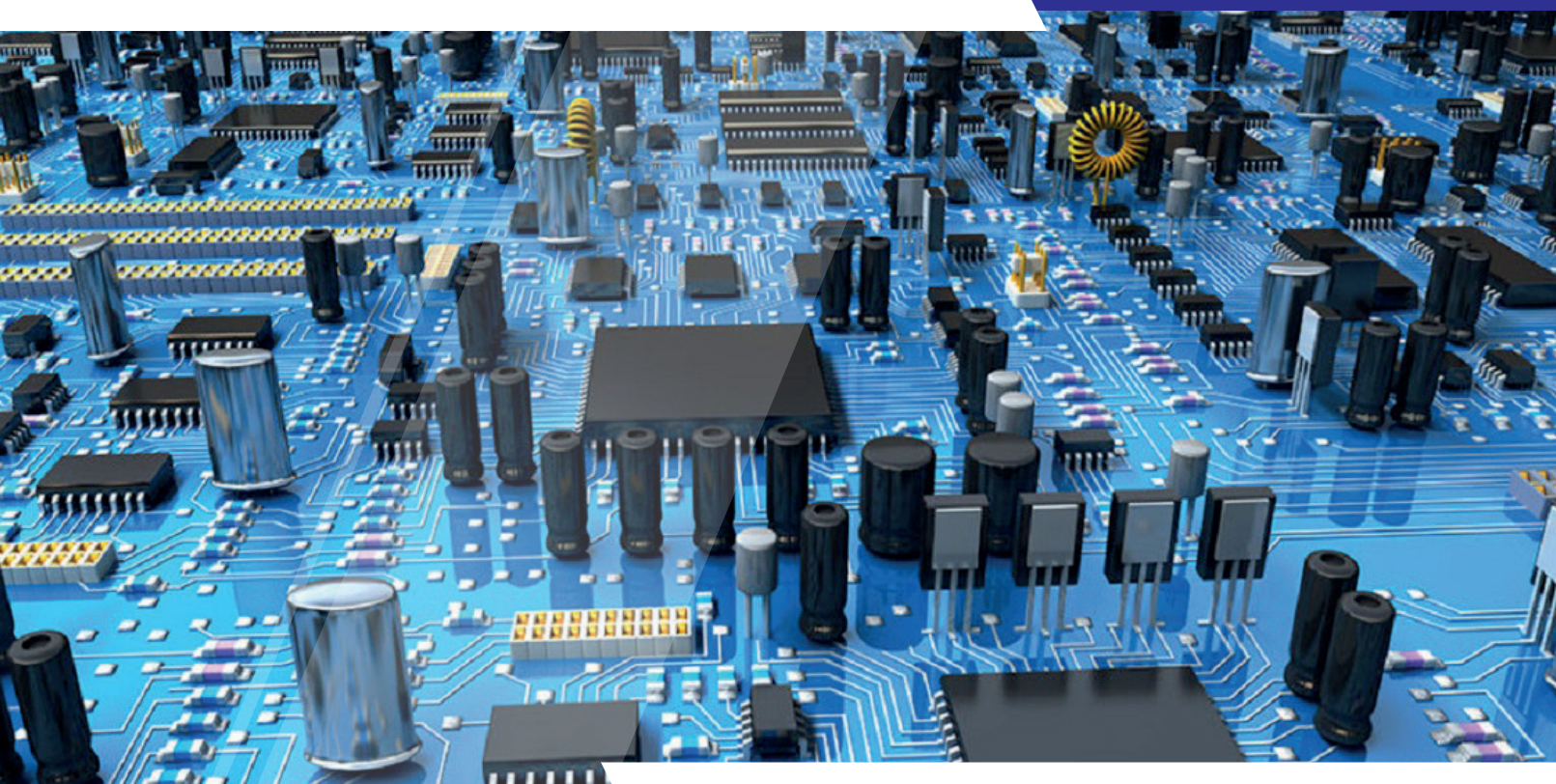


2⁽²²⁾ | РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: 2026 | ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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



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



АВТОНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ «ЭЛЕКТРОНСЕРТИФИКА»



СЕРТИФИКАЦИЯ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

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



МЕТОДИЧЕСКИЕ УСЛУГИ

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



ОБУЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ

- СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ
- ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ЭКБ В ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ (ЦЕНТРАХ)
- МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗРАБОТКИ И ИСПЫТАНИЙ ЭКБ И РЗА
- ПРИМЕНЕНИЕ ЭКБ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ИНОСТРАННОГО ПРОИЗВОДСТВА



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



ВНИИР

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

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

БОЛЕЕ
400

ЭКЗЕМПЛЯРОВ
ПЕРЕЧНЯ ЭКБ
ИЗГОТАВЛИВАЮТСЯ И
РАСПРОСТРАНЯЮТСЯ
ЕЖЕГОДНО

110

ЕДИНИЦ СРЕДСТВ
ИЗМЕРЕНИЙ

56

ЕДИНИЦ
ИСПЫТАТЕЛЬНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ

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

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

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

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

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

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

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

**ПРИГЛАШАЕМ К
СОТРУДНИЧЕСТВУ!**



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

РО Пир 2(22)/2026 (Основан в 2021 году)

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

М.З. Курбанов, генеральный директор ФГБУ «ВНИИР»

С.И. Боков, доктор экономических наук

А.В. Брыкин, доктор экономических наук

В.Л. Гладышевский, доктор экономических наук

Н.В. Завьялов, академик РАН

В.М. Исаев, доктор технических наук

Е.Г. Комаров, доктор технических наук

А.А. Рахманов, доктор технических наук

А.С. Сигов, академик РАН

В.Б. Стешенко, кандидат технических наук

В.А. Телец, доктор технических наук

А.В. Трусов, доктор технических наук

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

Заместители главного редактора:

С.Б. Подъяпольский, кандидат технических наук

С.С. Милосердов, кандидат технических наук

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А.С. Афанасьев, кандидат технических наук

В.В. Быканов, кандидат технических наук

З.М. Гальперина, доктор экономических наук

П.С. Желтухин, доктор технических наук

И.Н. Кабанов, доктор технических наук

Р.Г. Левин, кандидат физико-математических наук

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

Д.А. Руденко, кандидат военных наук

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

В.А. Трусов, доктор технических наук

Л.А. Фёдорова, академик Академии проблем качества

В.Н. Храменков, доктор технических наук

В.А. Цветкова, доктор технических наук

РЕДАКЦИЯ:

В.А. Сахаров, ответственный редактор

В.В. Малышева, графический дизайнер

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 05.06.2026 г.

Подписано к печати 25.06.2026 г.

Тираж 350 экз.

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

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

СОДЕРЖАНИЕ**РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ**

Дормидошина Д.А., Рубцов Ю.В. Автоматизация анализа информации о дефектах, обнаруженных системой контроля качества изделий электронной техники 2

Мельник Н.Н. Проблемы и подходы к формированию информационной инфраструктуры поддержки процессов разработки и производства радиоэлектронной аппаратуры 10

Потапов А.Н., Кузнецов В.А., Громов Ю.Ю. Принятие решений при прогнозировании периодичности и объёма профилактических мероприятий в управлении техническим состоянием беспилотных летательных аппаратов средней и большой дальности с контролем параметров 16

Могильников А.В., Трусов А.В. Информационные процессы интеграции данных и знаний в управлении биоэлектрическими системами на основе функционально-процессного подхода 21

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ

Гальперина З.М., Краснянский В.В. Стандартизация в радиоэлектронной промышленности: от кадрового кризиса к институциональным решениям 25

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Свинаренко В.А. Оценка экономического потенциала цифровой трансформации предприятий радиоэлектронной промышленности в контексте госзаказа 33

УДК: 004.8; 621.3

**АВТОМАТИЗАЦИЯ АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИИ О ДЕФЕКТАХ, ОБНАРУЖЕННЫХ
СИСТЕМОЙ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ**

**AUTOMATION OF ANALYSIS OF INFORMATION ON DEFECTS DETECTED
BY THE QUALITY CONTROL SYSTEM FOR ELECTRONIC PRODUCTS**

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

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

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

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

Аннотация: в настоящей статье представлены результаты исследований, разработки и постановки в эксплуатацию системы анализа информации о дефектах изделий электронной техники, обнаруженных автоматизированным контролем качества с помощью технологий искусственного интеллекта. Представлены описания используемых источников информации о дефектах, методы обнаружения, сбора, обобщения, анализа информации о дефектах, обратной связи, влияющей на технологические процессы для повышения качества и выхода годных изделий электронной техники. Представленные в статье результаты исследований получили реализацию и применяются на предприятиях промышленности.

Annotation: this article presents the results of research, development, and implementation of a system for analyzing information on electronic product defects detected by automated quality control using artificial intelligence technologies. It describes the sources of defect information used, as well as methods for detecting, collecting, summarizing, and analyzing defect information, as well as feedback that influences technological processes to improve the quality and yield of electronic products. The research results presented in the article have been implemented and are being used in industrial enterprises.

Ключевые слова: изделия электронной техники, радиоэлектронная аппаратура, искусственный интеллект, машинное обучение, глубокое обучение.

Keywords: electronic products, electronic equipment, artificial intelligence, machine learning, deep learning.

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

Введение

Контроль качества изделий электронной техники (далее – ИЭТ) прошел значительную трансформацию, преобразуя инспекцию качества ИЭТ от ручной или визуальной к автоматизированным и интеллектуальным системам. В современных условиях радиоэлектронная промышленность базируется на обработку данных в реальном времени и на оперативное принятие решений. При этом контроль качества становится краеугольным камнем экономической эффективности разработчиков и изготовителей ИЭТ. Отечественные предприятия, применяющие автоматизированную инспекцию, отмечают значительный эффект применения [1].

В чём сходство и разница между контролем качества и инспекцией качества? Контроль качества – это широко охватывающий процесс, включающий инспекцию качества ИЭТ и контроль производственного процесса (разработки и изготовления ИЭТ) для обеспечения соответствия ИЭТ установленным стан-



Дормидошина Д.А. Рубцов Ю.В.

дартам качества, в то время как инспекция качества – это процесс, включающий тестирование и проверку ИЭТ (материалов и комплектующих) на соответствие установленным стандартам качества.

Процесс контроля качества ИЭТ включает в себя методы, которые распространяются на различные участки производства, где необходим контроль. Обычно он начинается с контроля материалов и закупаемых элементов ИЭТ – также известного

как входной или приёмочный контроль. Система автоматизированного контроля качества порошковых материалов и микроструктур поверхностей сыпучих материалов нами разработана и описана в [2]. Затем периодически проводятся проверки после различных операций. Характер этих проверок в большинстве случаев зависит от типа ИЭТ. Например, контроль резисторов будет значительно отличаться от контроля микроконтроллеров. В конце изготовления ИЭТ проводится окончательный контроль, в ходе которого определяется, является ли ИЭТ годным или подлежит отбраковке. Это выходной контроль. В некоторых случаях выходной контроль расширяется до уровня упаковки ИЭТ на этапе отгрузки.

Контроль качества является важным процессом принятия решений в разработке и изготовлении ИЭТ. На каждом этапе производства принимаются вероятностные решения, определяющие, следует ли браковать или подтвердить годность ИЭТ. Контроль качества не является независимым в производственной цепочке создания ИЭТ, при этом, как показывают исследования, влияет на многие другие операции [3]. Контроль качества включает в себя множество элементов и должен обладать следующими характеристиками:

- а) точность: принимаемые решения должны быть обоснованными, чтобы исключить предвзятость или ошибки;
- б) достоверность: принимаемые решения не должны изменяться, если подтверждена готовность ИЭТ к применению;
- в) надежность: принимаемые решения должны быть согласованными повторяемостью и воспроизводимостью. Процесс принятия решений не должен требовать повторной разработки ИЭТ;
- г) устойчивость: принимаемые решения должны демонстрировать универсальность в обнаружении различных типов дефектов;
- д) оперативность: решение принимается до момента производства новых дефектных изделий.

Следует отметить, что указанные выше характеристики желательны для всех процессов контроля качества, независимо от того, проводится ли они специалистами или с помощью автоматизированных систем.

Традиционные методы инспекции ИЭТ, в основном основанные на человеческом зрении, оказываются недостаточными в ситуациях, требующих высокой точности и оперативности. По мере того, как производственные процессы автоматизируются, как показывают исследования в [4], применение роботизированных систем (далее – РС), интеллектуальных датчиков (далее – ИД) и сетевой вычислительной инфраструктуры (далее – СВИ), способных анализировать информацию об обнаруженных дефектах ИЭТ, становится реальностью. Использование компьютерного зрения (далее – КЗ), машинного обуче-

ния (далее – МО), глубокого обучения (далее – ГО), нейронных сетей (далее – НС), агентов искусственного интеллекта (далее – ИИ) представляет собой комплексный способ для фиксации как поверхностных, так и скрытых аномалий в ИЭТ. Тем не менее, как показано в исследованиях [5], интеграция этих методов при своей эффективности остаётся технической задачей. Визуальные сигналы богаты пространственной информацией, но не имеют глубины проникновения. Акустические сигналы могут обнаруживать внутренние дефекты, такие как распространение трещин или усталость материала, но подвержены окружающему шуму. Вибрационные сигналы предоставляют важную информацию о нестабильности структур, но обычно их трудно интерпретировать. Интеграция этих разнородных потоков данных в единую, интеллектуальную систему принятия решений является целью наших дальнейших исследований.

Современные процессы разработки и изготовления ИЭТ по мере того, как ИЭТ становятся функциональнее и сложнее, требуют программно-технических решений, способных не только обнаруживать различные дефекты от поверхностных царапин и микротрещин до внутренних структурных несоответствий, но и собирать, обрабатывать и анализировать такую информацию [6]. Время требует организовывать обратную связь, способную положительно влиять на разработку, подготовку производства, изготовление и применение ИЭТ.

Автоматизированные источники информации о дефектах

Первичными источниками информации для проведения сбора, обработки и анализа данных о дефектах, обнаруженных системой инспекции качества ИЭТ, являются РС (далее – АПАК). Они представляют собой согласованно работающую систему программных и технических средств.

Программное обеспечение (далее – ПО) АПАК включает в себя системную, прикладную и инструментальную часть.

Системная часть ПО АПАК позволяет выполнить первичную загрузку программ управления техническими средствами, управление компонентами вычислительных средств (процессорами, памятью), выделения и разделения вычислительных ресурсов, управления прикладной и инструментальной частей ПО. Системная часть ПО АПАК является фундаментом, с помощью которого АПАК начинает работать и может выполнять свое предназначение.

С помощью системной части ПО АПАК «понимает» технические компоненты и обеспечивает их совместимость, создает среду для запуска и выполнения прикладной и инструментальной частей, взаимодействия манипуляторов, ИД и СВИ.

Прикладная часть ПО АПАК предназначена для выполнения задач инспекции качества ИЭТ. В отли-

ции от системной и инструментальной частей ПО, прикладная часть решает практические задачи обнаружения дефектов и регистрации их в протоколах проверки. С помощью прикладной части ПО АПАК выполняются задачи установки аппаратуры КЗ в место нахождения ИЭТ, съема изображения (другой электромагнитной информации), обработки снятой информации и опознавания дефектов. Прикладная часть ПО АПАК обеспечивает МО, ГО, работу НС и ИИ в целом. Прикладная часть ПО АПАК формирует протоколы проверки качества ИЭТ для их обработки и анализа дефектов.

Инструментальная часть ПО позволяет диагностировать компоненты АПАК, выполнять очистку данных, дефрагментацию памяти, антивирусную защиту, архивирование и резервное копирование. А также обрабатывать и отправлять данные, необходимые для проведения анализа дефектов ИЭТ.

Техническая часть АПАК представляет собой вычислительные средства, манипуляторы, ИД и устройства, обеспечивающие работу АПАК в СВИ. Манипуляторы – механизмы или устройство с электрическими приводами, предназначенные для захвата, перемещения ИЭТ, установку аппаратуры КЗ (ИД) в место нахождения ИЭТ, выполнения точных операций, заменяющих ручной труд. Это промышленные, стационарные, программные роботы, имеющие вращательные и линейные оси. По количеству соединений определяется количество осей или степеней свободы. Количество и типы соединений звеньев являются основными факторами, определяющими сложность выполняемой АПАК задачи.

У манипулятора АПАК есть компонент, который крепится на запястье – это может быть всасывающий элемент или электромагнит для захвата ИЭТ или устройства КЗ. Для перемещения запястья требуется как минимум три сустава, чтобы двигаться по трем осям координат.

В основном для инспекции ИЭТ используется АПАК, работающий в прямоугольной системе координат. Все звенья робота двигаются по трем перпендикулярным осям и не вращаются. Такой робот имеет большие габариты, но обладает высокой точностью. Этот тип АПАК применяется для инспекции дефектов на кристаллах как в составе пластины, так и разделенных. А также для других ИЭТ, размещенных на площадке или на паллете. Простейший тип такого робота–манипулятора АПАК представлен на рис. 1.

Дельта робот (параллельный робот) также используется для инспекции дефектов в условиях необходимости в высокой скорости перемещения (рис. 2). Такой робот применяется для поиска пустот и дефектов в полупроводниковой пластине, когда их размеры и местоположения на пластине не определены.

Ключевым отличием Дельта роботов является конструкция из нескольких звеньев, прикрепленных к общему основанию, позволяющий сохранять

пространственную ориентацию элементов робота. Дельта робот состоит из трёх таких рычагов. Все три рычага одновременно поддерживают захват ИД, всасывающего элемента или электромагнита для захвата ИЭТ на одинаковой высоте.

Конвейеры в системах инспекции качества ИЭТ – оборудование непрерывного действия ленточного типа. ИЭТ размещается на ленте и передвигается под ИД, которые проверяют наличие дефектов на поверхности ИЭТ. В конце конвейера устанавливается сортировщик, позволяющий раскладывать изделия на годные, бракованные, с дефектом не являющиеся браком и с сомнительным видом (рис. 3).

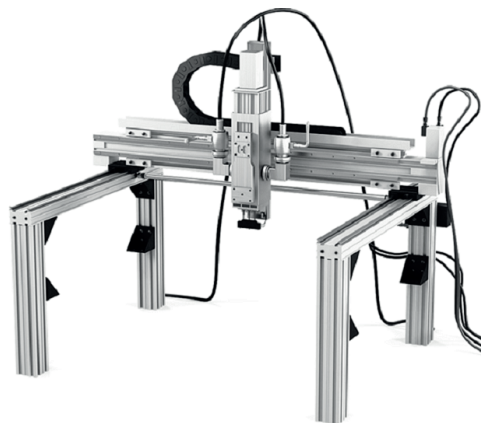


Рис. 1. Манипулятор АПАК, работающий в прямоугольной системе координат



Рис. 2. Дельта робот (параллельный робот), применяемый в АПАК

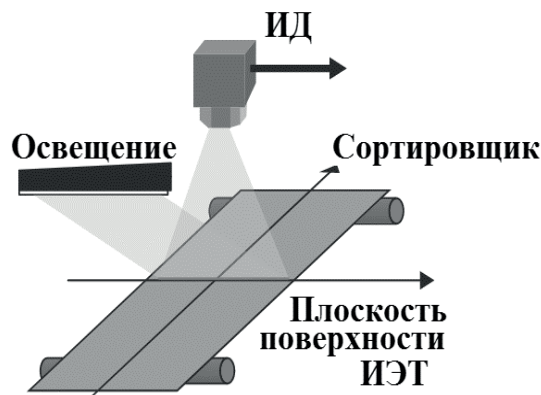


Рис. 3. Применение конвейера в системах инспекции качества ИЭТ

ИД – устройства технической части АПАК, объединяющие чувствительный элемент с процессорами для сбора, цифровой обработки, анализа снятой с ИЭТ информации и передачи ее в АПАК. В отличие от обычных видеокамер, ультразвуковых и токовых датчиков, они способны калибровать данные, диагностировать свое состояние, самообучаться и функционировать для обеспечения работы АПАК. ИД отличаются от традиционных датчиков своей способностью к самостоятельной обработке и интерпретации данных. ИД адаптивны, они способны к самообучению и коррекции своих параметров в зависимости от изменяющихся условий окружающей среды. ИД многозадачны, могут измерять несколько параметров одновременно, например: размеры элементов ИЭТ; наличие дефектов формы элементов; изменение насыщенности цвета определенных участков. ИД имеют цифровой интерфейс, который обеспечивает быструю и точную передачу данных между ИД и другими АПАК.

Таким образом, источником информации для ее сбора, обработки и анализа являются АПАК в составе СВИ (on-line режим) или не в составе СВИ (of-line режим). В первом случае средства сбора, обработки и анализа информации централизованы для всех АПАК производственного процесса. Во втором случае, средства сбора, обработки и анализа информации находятся в составе АПАК. Оптимальным с точки зрения эффективности применения является первый случай.

Анализ дефектов и методов их обнаружения

Данные, полученные с АПАК, предоставляют ценную информацию для оптимизации производственных процессов и принятия обоснованных решений. Эти данные позволяют выявлять места для исключения дефектов, корректировать параметры производства.

Дефект – это каждое отдельное несоответствие ИЭТ требованиям, установленным нормативной документацией. Дефектами могут быть не только недопустимые нарушения поверхности элементов ИЭТ, но и изменение размеров элементов ИЭТ за пределы допуска, несоответствие степени шероховатости поверхности ИЭТ нормативам, наличие царапин и сколов, содержание сторонних примесей и т. д.

Структура материалов элементов ИЭТ не является идеально сплошной и представляет собой структуру, состоящую из основного материала, по границам которой распределены примеси, а также дефекты, различающиеся размерами, формой и расположением. В структуре материала можно наблюдать дислокации и вакансии (искажения и несовершенства кристаллической решетки). В микроструктуре имеются микротрещины и микропоры. В макроструктуре – трещины, раковины, расслоения, рыхлости и пр. В нормативной документации ИЭТ должны четко

указываться предельные отклонения поверхности элементов ИЭТ от номинальных значений, при которых ИЭТ выполняют свои функции без снижения качества. Отклонение считается допустимым, если они не выходят за пределы, установленные нормативной документацией. Выход этой величины за пределы означает, что ИЭТ имеет дефект.

Дефекты могут варьироваться от незначительных проблем, которые оказывают минимальное влияние на ИЭТ, до серьезных, которые делают ИЭТ непригодным для использования. Определяя и классифицируя типы дефектов, которые имеют отношение к оцениваемому ИЭТ, предприятия обеспечивают согласованность в отчетности и сравнении.

Программно-технические средства АПАК позволяют обнаруживать:

- дефекты, при наличии которых нельзя использовать ИЭТ по назначению, так как ИЭТ не отвечает требованиям безопасности;
- дефекты, которые влияют на применение ИЭТ по назначению и на ее долговечность, но не являются критическими;
- дефекты, которые существенно не влияют на применение ИЭТ.

Критические и значительные отклонения считаются дефектами и браком – для их выявления контроль должен быть сплошным, а в отдельных случаях – неоднократным. Малозначительные отклонения считаются дефектами, но не браком, однако у некоторых ИЭТ совокупности отклонений, каждое из которых является малозначительным, могут быть эквивалентны значительному или критическому отклонению и относятся к соответствующей категории.

Разработка и внедрение АПАК на предприятиях радиоэлектронной промышленности позволяют значительно ускорить и увеличить выпуск ИЭТ высокого качества, уменьшить их стоимость и затраты на материалы, сократить трудоемкость производства. Несмотря на то, что для оптической инспекции поверхности ИЭТ были разработаны модели и системы классификации дефектов, большинство из них представляют собой проработанные методы автоматизированного оптического контроля, а именно статистические и спектральные методы на основе моделей и обучения. Ограничением этих подходов является их зависимость от экспертных мнений. Вторым недостатком является их двухэтапный характер. Для извлечения признаков специалистам требуется разработать специальные правила и настроить модели выявления отклонений от этих правил. На втором этапе для выявления дефектов используется МО или ГО. Имеются случаи комбинированного использования МО и ГО. Эти ограничения нами преодолевались с помощью усовершенствованных методов обнаружения дефектов. Для этого в АПАК применялось ГО на основании опыта других исследователей, решавших задачи по обнаружению дефектов, широко известных в других

отраслях: дефекты на поверхности стали, дефекты сварки в авиакосмической технике, сварки труб, лазерной сварки изделий, трещины на бетонных конструкциях или на других строительных объектах, дефекты на линзах в медицинских приборах и т. д. Кроме того, для обнаружения дефектов также использовались гибридные подходы, как сочетающие МО и ГО, так и : адаптивный бустинг; экстремальный градиентный бустинг; категориальный бустинг, описанные в [7]. С учетом ограниченности выборок в наборе данных ИЭТ рассматривались возможности работы с редкими и несбалансированными наборами данных, а также аугментации данных с помощью генеративно-состязательных сетей. Для оценки качества ИЭТ все модели обучались и тестировались на экспериментальных установках. В качестве образцов оценки взяты методы из [8]. Результаты показывают, что наилучшую точность обнаружения обеспечивает гибридный метод, который позволяет получить 99,68 % достоверности обнаружения. Однако изменение в составе и качестве применяемых материалов, комплектующих, замена оборудования, внешние воздействия (свет, помехи, перемещение персонала и оборудования, транспортных тележек) делают точность непостоянной, а результаты нестабильными. По этим причинам мы изучаем, применяем и разрабатываем новые методы обнаружения дефектов, повышающие постоянство достигнутых результатов на основании прежде выполненных разработок. Результаты таких исследований показаны в [9].

Концепция «производства без брака» и основные способы ее реализации

Изготовители, потребители, разработчики радиоэлектронной аппаратуры (далее – РЭА) и заказчики ИЭТ должны фокусироваться на минимизации любых видов потерь производства с использованием технологий, основанных на данных, тем самым повышая качество всех аспектов разработки и изготовления изделий. При этом должен выполняться центральный принцип – «сделать все правильно с первого раза». В последние годы применение автоматизации в системах контроля качества на производственных линиях стало привлекать внимание как практиков, так и ученых благодаря ее способности обнаруживать дефекты в режиме реального времени и, таким образом, защитить производство от сбоев. Хотя производители используют классические методы повышения качества, такие как «шесть сигма», бережливое производство, теория ограничений и комплексное управление качеством уже более трех десятилетий, многое еще предстоит сделать.

Благодаря интеграции АПАК, объединённых в информационную систему (далее – ОИСД) обнаружения, анализа и предотвращения дефектов, предоставляется возможность осуществлять непрерывный мониторинг информации от АПАК, собирать данные об обнаруженных дефектах, анализировать увеличе-

ние (сокращение) их количества, появление новых и предотвращать причины их появления. Таким образом, контроль качества не нужно проводить поэтапно или по расписанию. Вместо этого данные с АПАК могут анализироваться в режиме реального времени для выявления дефектов с целью раннего вмешательства и поиска причин. Это значительно сокращает потери и потенциальные негативные последствия для последующих этапов производства.

ОИСД объединяет данные из всех источников для обеспечения согласованности и гарантирует, что даже незначительная информация о дефектах будет рассмотрена. Также позволяет собирать информацию о дефектах, обрабатывать и анализировать ее в режиме реального времени в условиях производства ИЭТ. Информация сортируется по изделиям, видам дефектов, исполнителям операций и технологических процессов. Рассчитывается объём выпуска годной продукции.

Управление уровнем качества ИЭТ – это направление, которое позволяет отслеживать состояние системы обеспечения качества, обнаруживать и анализировать дефекты ИЭТ, диагностировать АПАК и прогнозировать возникновение дефектов и предотвращать их. Используя датчики, можно отслеживать рабочие условия критически важных элементов в режиме реального времени. В настоящее время доступность недорогих встраиваемых устройств и микроконтроллеров позволяет предприятиям внедрять системы прогноза и управления уровнем качества в производственные процессы. Например, применение АПАК в контроле качества микросварки контактов к корпусу конденсатора позволяет считать количество технологических циклов и предупреждать о необходимости обслуживания элементов аппарата микросварки [10]. Невыполнение такого предупреждения приведет к снижению качества ИЭТ и возникновению дефектов. После сбора достаточного количества данных разработанные индексы и метрики состояния могут использоваться в моделях для прогнозирования отказов элементов технологического оборудования ИЭТ и предоставления оценок состояния технологических процессов.

В прошлом, подходы к сбору, обработке и анализу информации о дефектах, основанные на данных, опирались на модели МО. Однако успешная реализация моделей МО для прогнозирования или обнаружения дефектов часто зависит от экспертных знаний для извлечения значимых характеристик или признаков из входных данных, таких как акустические сигналы, сигналы вибрации, данные изображений и т. д., следовательно, использование ГО в прогнозировании и диагностике дефектов дает преимущества.

С развитием современных производственных систем и созданием миниатюрных и сложных ИЭТ,

управление качеством с АПАК и ОИСД заняло важное место в организационном планировании и стратегиях предприятий. Контроль качества включает установление стандартов качества, обеспечение соответствия ИЭТ этим стандартам и улучшение общего качества ИЭТ и технологических процессов изготовления, как показано в [11].

Общий процесс управления качеством постоянно меняется из-за динамичного характера производственной среды. Такие подходы, как планирование экспериментов (DOE, Design of Experiments), анализ видов и последствий дефектов (FMEA, Failure Mode and Effects Analysis), развертывание функций качества (QFD, Quality Function Deployment) и непрерывный контроль, предписывают уникальные методологии применения в АПАК и ОИСД. Хотя эти подходы требуют проработки, существует возможность оценивать качество 100 % продукции на современном производственном участке. Непрерывная оценка качества продукции стала реальностью благодаря развитию ИИ.

DOE позволяет систематически исследовать различные факторы и их взаимодействие для оптимизации характеристик продукции и процессов. Выявляя ключевые факторы и их оптимальные уровни, изготовители ИЭТ улучшают качество, снижают затраты и повышают эффективность производства.

DOE помогает выявить первопричины дефектов и вариаций в производственном процессе. Проводя эксперименты и анализируя результаты, специалисты могут точно определить факторы, способствующие возникновению дефектов, и разработать стратегии по их сокращению или устранению. DOE является неотъемлемой частью методологии «шесть сигма», которая направлена на достижение совершенства процесса и сокращение вариаций. Используя DOE, предприятия могут определить критически важные параметры процесса, установить оптимальные уровни и внедрить стратегии для минимизации дефектов и вариаций, тем самым улучшая качество ИЭТ.

Как показано в [12], ключевыми факторами, влияющими на оптимизацию процессов качества и сокращение дефектов, являются:

а) проектирование и стандартизация процессов: разработанные процессы с четкими спецификациями и стандартными рабочими процедурами играют жизненно важную роль в оптимизации качества и минимизации дефектов. Такие факторы, как компоновка и настройка оборудования, эффективность рабочего процесса и механизмы защиты от ошибок, могут существенно повлиять на качество выпускаемой продукции и образование дефектов;

б) контроль и мониторинг качества: эффективные меры контроля качества, включая надежные протоколы инспекции, системы мониторинга в реальном времени и методы статистического контроля процессов, помогают оперативно выявлять и устра-

нять проблемы качества. Мониторинг критически важных параметров процесса и внедрение проверок качества на различных этапах могут существенно минимизировать объем дефектов и потерь;

в) обучение и развитие навыков: хорошо подготовленный и квалифицированный персонал необходим для поддержания стандартов качества и сокращения потерь. Адекватные программы обучения, документы по эксплуатации АПАК подчеркивают осведомленность о качестве, технические навыки и способность решать проблемы;

г) непрерывное совершенствование и бережливые методы: внедрение методологий непрерывного совершенствования, анализ первопричин возникновения дефектов позволяют организациям выявлять и устранять неэффективность процессов, дефекты и действия, не добавляющие ценности.

FMEA – это структурированный подход к выявлению потенциальных дефектов, которые могут существовать в конструкции ИЭТ или процессов их разработки и изготовления. FMEA обеспечивает качественное улучшение ИЭТ, используя знания и опыт специалистов для анализа хода разработки и изготовления ИЭТ путем оценки риска возникновения дефектов. Существует две основные категории FMEA: разработка и изготовление.

FMEA разработки ИЭТ исследует возможность возникновения дефектов ИЭТ, сокращения срока эксплуатации, а также проблем безопасности и соответствия нормативным требованиям, обусловленных: свойствами материалов; конструкцией; допусками размеров; взаимодействием элементов; окружающей средой, деградацией.

FMEA изготовления выявляет причины, влияющие на качество ИЭТ, снижение надежности процесса, неудовлетворенность потребителей (заказчиков), а также угрозы безопасности или окружающей среде, возникающие из-за: человеческого фактора; методов, используемых в процессе производства; используемых материалов; используемого оборудования; неисправности измерительных систем; негативных факторов влияния окружающей среды на процессы изготовления и инспекции качества ИЭТ.

FMEA – инструмент, используемый для обнаружения дефектов на самых ранних этапах разработки и изготовления ИЭТ. Раннее обнаружение с помощью FMEA обеспечивает следующие преимущества: множество вариантов снижения риска; высокая возможность верификации и подтверждения изменений в ИЭТ; сотрудничество между разработчиками и изготовителями (специалистами дизайн-центров и фабрик) ИЭТ; улучшенный проект для изготовления; экономичные решения; использование накопленных знаний и стандартных рабочих процедур.

QFD – метод развертывания функций качества – это базовый инструмент управления качеством, который систематически выявляет потребности

и ожидания потребителей, применяющих ИЭТ. Этот инструмент предоставляет графическую методологию для определения заявленных и невысказанных потребностей и ожиданий потребителей для принятия решений в случаях, когда эти потребности и ожидания противоречат друг другу, а также для внедрения этих требований и ожиданий, основанных на потребностях, в процесс разработки и производства ИЭТ.

Цель QFD в создании методологии, которая интегрирует удовлетворенность потребителей ИЭТ еще до начала его изготовления. Это представляет собой более проактивный подход, чем другие методы контроля качества, которые сосредоточены на устранении проблем с ИЭТ во время или после его изготовления.

Обычно требования заказчиков (потребителей) выражаются в качественных терминах, таких как «функциональное назначения», «условия применения», «параметры», «показатели» и пр. Для эффективной разработки ИЭТ необходимо перевести эти качественные термины от заказчиков в количественные требования к разработке. Именно здесь на помощь приходит QFD. Объединяя различные матрицы для формирования комплексной структуры, подобной дому, называемой «Домом качества», производители могут составить приоритетный список потребностей и проблем заказчика и систематически интегрировать их в разработку ИЭТ.

Таким образом, предприятия могут принимать более обоснованные решения, взвешивая требования заказчиков и учитывая, как ИЭТ соотносятся с требованиями промышленности. В этом аспекте QFD помогает тем, что предоставляет необходимую документацию для всего процесса принятия решений на разработку. QFD исключает требования, возникающие, согласованные и утвержденные в технических заданиях по получению параметров и показателей ИЭТ, которые невозможно достичь в силу законов физики или ошибок специалистов. QFD исключает проблемы изготовления невостребованной ИЭТ или изготовления ИЭТ с дефектами, не позволяющими применять ИЭТ в РЭА.

Заключение

В данной статье рассматривается область мониторинга состояния ИЭТ с точки зрения анализа информации о дефектах, обнаруженных автоматизированной системой контроля качества изделий электронной техники. Проводится обзор мониторинга состояния системы контроля качества и продукции в производстве. Обсуждаются этапы процесса контроля качества и инспекции качества, а также анализируются ключевые факторы, влияющие на процесс инспекции качества. На основе проблем, связанных с визуальным контролем, предлагается подход к интеллектуальному контролю качества на основе ИИ. Цель наших исследований – минимизировать фак-

торы, влияющие на процесс контроля, связанные с субъективной оценкой специалистов, окружающей средой, организационными факторами с помощью ИИ. Нами исследованы и представлены методы минимизации негативных факторов, связанных с окружающей средой. Например, такие факторы окружающей среды, как время суток и продолжительность смены, не должны влиять на производительность и качество работы АПАК и ОИСД. Автоматизированные системы должны протоколировать результаты работы, документировать выводы в процессе контроля и сохранять их в журналах.

Мы считаем, что есть области, в которых предлагаемая работа может быть улучшена. Дефекты ИЭТ можно классифицировать по различным типам: поры, поверхностные царапины, трещины, спайки и т. д. Перед классификацией дефектов необходимо провести формальную категоризацию. Локализованное обнаружение дефектов – еще одна функция, которую нужно включать в контроль качества. Локализованное обнаружение дефектов определяет точное местоположение дефектов и возвращает вероятность возникновения дефекта в этом месте. Эта функция в АПАК находится в стадии разработки, но на данный момент получены промежуточные результаты.

На данный момент описанные в статье технологии были установлены и применяются на шести предприятиях для различных видов ИЭТ, которых в отечественной промышленности на два порядка больше. На некоторые условия окружающей среды во время установки и применения технологий накладывались ограничения. Например, освещение, чистота воздуха, вибрации и пр. В идеальном сценарии АПАК можно установить непосредственно на сборочной линии, автоматически получая поток данных о годности ИЭТ. Это еще больше автоматизирует процесс контроля и уменьшит любые оставшиеся факторы, которые могут повлиять на работу инспекции качества. Данные из протоколов также можно анализировать с помощью различных методов программирования с помощью языков высокого уровня. Они приобретают все большее значение в процессах формирования отчетности, разработки и изготовления ИЭТ.

Литература

1. Ковалев А.А. «О применении роботизированной системы оптической инспекции качества в производственных процессах Зеленоградского нанотехнологического центра». 9 февраля 2026 года, – URL: https://www.deyton.ru/doc/zntc_18.02.2026.pdf (дата обращения: 05.03.2026).
2. Дормидошина Д.А., Евстифеев Ю.А., Рубцов Ю.В., Кузнецов А.П. «Разработка и внедрение АПАК для поиска дефектов изделий микроэлектроники с помощью искусственного интеллекта»

- Часть 4. Проверка качества порошковых материалов и микроструктур поверхностей». Научно-технический журнал «Электронные компоненты». – 2025. – № 5, С. 21-25, – URL: <https://www.deyton.ru/doc/stat13.05.2025-4.pdf> (дата обращения: 05.03.2026).
3. Дормидошина Д.А., Рубцов Ю.В. «Обзор и анализ методов автоматического оптического контроля качества изделий электронной техники». Научно-технический журнал «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения». – 2025. – № 4 (20), С. 2-18, – URL: <https://www.deyton.ru/doc/stat11.12.2025.pdf> (дата обращения: 05.03.2026).
 4. Дормидошина Д.А. «Ключевые преимущества компьютерного зрения в промышленности». Научно-технический журнал «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения». – 2025. – № 3 (19), С. 13-17, <https://www.deyton.ru/doc/stat01.09.2025.pdf> (дата обращения: 09.03.2026).
 5. Дормидошина Д.А., Рубцов Ю.В. «Искусственный интеллект в визуальной проверке качества изделий: технологические и экономические аспекты». Научно-технический журнал «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения». – 2025. – № 2 (18), С. 6-12, – URL: <https://www.deyton.ru/doc/stat06.06.2025.pdf> (дата обращения: 05.03.2026).
 6. Афанасьев А.С., Боков С.И., Рубцов Ю.В. «О необходимости механизма контроллинга в обеспечении управления информацией по отказам ЭКБ в РЭА широкого применения». Научно-технический журнал «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения». – 2021. – № 2, С. 7-9, – URL: <https://www.deyton.ru/doc/stat06.06.2025.pdf> (дата обращения: 05.03.2026).
 7. Дормидошина Д.А., Рубцов Ю.В. «Обзор и анализ методов предварительной обработки изображений в автоматическом оптическом контроле качества изделий электронной техники». Международный мультидисциплинарный электронный научный журнал «Флагман науки». – 2025. – № 7, С. 100-111, – URL: <https://www.deyton.ru/doc/stat15.08.2025.pdf> (дата обращения: 10.03.2026).
 8. Рубцов Ю.В. «Оценка метода машинного обучения для системы автоматизированного выбора компонентной базы радиоэлектронной аппаратуры». Научно-технический журнал «Автоматизация и измерения в машино- и приборостроении» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Севастопольский государственный университет». – 2025. – № 3 (31), С. 45-59, – URL: <https://www.deyton.ru/doc/stat25.06.2025.pdf> (дата обращения: 10.03.2026).
 9. Дормидошина Д.А., Евстифеев Ю.А., Ключников В.Н., Ключников Е.Н., Рубцов Ю.В. «Электронные компоненты. Разработка и внедрение АПАК для поиска дефектов изделий микроэлектроники с помощью искусственного интеллекта – Часть 12. Современные тенденции в методах автоматизированного оптического контроля изделий электронной техники». – 2026. – № 1, С. 40-44, – URL: <https://www.deyton.ru/doc/stat29.12.2025.pdf> (дата обращения: 09.03.2026).
 10. Дормидошина Д.А., Евстифеев Ю.А., Рубцов Ю.В., Графов И.С., Старостин С.П. «Разработка и внедрение АПАК для поиска дефектов изделий микроэлектроники с помощью искусственного интеллекта – Часть 5. Обнаружение дефектов микросварки в контактах элементов ЭКБ с помощью электромагнитных устройств». Научнотехнический журнал «Электронные компоненты». – 2025. – № 6, С. 6-15, – URL: <https://www.deyton.ru/doc/stat13.05.2025-5.pdf> (дата обращения: 05.03.2026).
 11. Дормидошина Д.А., Рубцов Ю.В. «Технологические тенденции в оптическом обнаружении дефектов радиоэлектронных изделий в 2025 году». Международный мультидисциплинарный электронный научный журнал «Вектор научной мысли», - 2025. – № 11 (25), С. 240-246, – URL: <https://www.deyton.ru/doc/stat13.11.2025.pdf> (дата обращения: 09.03.2026).
 12. Сучков К.И., Невский А.А., Рубцов Ю.В., «Развитие системных мероприятий управления качеством и надёжностью электронной компонентной базы по направлениям сбора, обработки и анализа информации с этапов производства, применения и эксплуатации». Научно-технический журнал «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения». – 2021. – № 1, С. 4-6, – URL: <https://www.deyton.ru/doc/article2021-1.pdf> (дата обращения: 15.03.2026).

УДК 004.9:621.396:621.3.049.75

**ПРОБЛЕМЫ И ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПОДДЕРЖКИ
ПРОЦЕССОВ РАЗРАБОТКИ И ПРОИЗВОДСТВА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

**PROBLEMS AND APPROACHES TO FORMING AN INFORMATION INFRASTRUCTURE FOR SUPPORTING
THE DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF RADIOELECTRONIC EQUIPMENT**

Мельник Н.Н., к. э. н., ведущий эксперт проекта, ФГБУ «ВНИИР», +7 (495) 586-17-21, melniknn@vniir-m.ru

Melnic N.N., Ph.D. of Economic Sciences, Lead Project Expert, FSBI "VNIIR",
+7 (495) 586-17-21, melniknn@vniir-m.ru

Аннотация: в статье приводится экспертный взгляд на существующие проблемы и подходы к формированию информационной инфраструктуры поддержки процессов разработки и производства радиоэлектронной аппаратуры с технической и экономической точки зрения, определяются её цели и задачи, описываются новые возможности для разработчиков и производителей электронной компонентной базы и радиоэлектронной аппаратуры с её появлением, рассматриваются варианты её масштабирования, а также обеспечения стабильного финансирования её создания и эксплуатации.

Abstract: the article presents an expert view on the creation and operation of an information infrastructure for the development of radio electronic equipment from a technical and economic point of view, defines its goals and objectives, describes new opportunities for developers and manufacturers of ECB and REA with its advent, considers options for its scaling and ensuring stable financing for its creation and operation.

Ключевые слова: информационная инфраструктура, разработка РЭА, ЭКБ, радиоэлектронный компонент, РЭК, радиоэлектронная аппаратура, DeltaDesign, AltiumDesign, «Перечень ЭКБ», «ЭКБМаркет», ВНИИР.

Keywords: information infrastructure, development of REA, ECB, radio electronic component, REC, radio electronic equipment, DeltaDesign, AltiumDesign, "List of ECB", "ECBMarket", VNIIR.

Научная специальность: 2.3.4. Управление в организационных системах.

Введение

В настоящее время даже при наличии радиоэлектронных компонент (далее – РЭК) отечественного производства, необходимых при разработке и производстве радиоэлектронной аппаратуры (далее – РЭА), их востребованность достаточно низка. Эта проблема была проанализирована ФГБУ «ВНИИР» и ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России в статье «Совершенствование научно-методического аппарата процессов снижения импортозависимости радиоэлектронной аппаратуры от ЭКБ иностранного производства» [1], где была приведена причинно-следственная диаграмма (рис. 1) с учетом мотивации применения электронной компонентной базы отечественного производства (далее – ЭКБ ОП).

С приведенной диаграммой в целом можно согласиться, за исключением того, что разработчику РЭА уже на начальном этапе разработки необходимо знать цену и возможности поставки ЭКБ ОП, чтобы не оказаться у «разбитого корыта» при начале производства РЭА [2].

Основной целью создания информационной инфраструктуры поддержки процессов разработки и производства РЭА является информационное обеспечение трех групп лиц принимающих решения (разработчики, снабженцы, администраторы) при импортозамещении электронной компонентной базы



Мельник Н.Н.

иностранного производства (далее – ЭКБ ИП) на ЭКБ ОП, сокращения сроков разработки и запуска в производство РЭА.

Для достижения этой цели необходимо:

- помочь разработчикам РЭА в использовании ЭКБ ОП и переходе с ЭКБ ИП;
- облегчить поиск разработчикам РЭА, снабженцам и экономистам выпускаемых (поставляемых) в нужных количествах и за требуемый период РЭК у производителей и поставщиков ЭКБ;
- помочь снизить производителям ЭКБ себестоимость производства РЭК за счет увеличения объёма и соответственно выхода годных РЭК, а также за счёт больших объемов повысить надежность РЭК;
- обеспечить стабильное финансирование создания и эксплуатации информационной инфраструктуры, и найти ответы на ряд вопросов:



Рис. 1. Причинно-следственная диаграмма с учетом мотивации применения электронной компонентной базы отечественного производства

1. Как решать вышеперечисленные задачи?

Большинство разработчиков РЭА хотели бы, чтобы разрабатываемая ЭКБ ОП была прямым аналогом (pin-to-pin) ЭКБ ИП, чтобы не требовалось перепроектировать уже созданную РЭА [3]. Однако это противоречит желаниям производителей ЭКБ ОП, которые могут использовать только ограниченные финансовые и временные ресурсы [3], и в этом случае нужно помочь разработчикам РЭА найти ближайший функциональный аналог. Далее необходимо, чтобы у разработчика под рукой были справочные данные РЭК, а именно характеристики РЭК, в том числе необходимых для «выполнения расчетов по определению вибрационной и ударной прочности конструкций, вычисления резонансных частот и нагрузки, а также теплового расчета» [4], условное графическое обозначение (далее – УГО), посадочное место (далее – ПМ), модели SPICE, HDL, IBIS, STEP, BDSL-файл для периферийного сканирования, аналоги РЭК как из ЭКБ ИП, так и из ЭКБ ОП, ТУ, форма заказа и другие дополнительные файлы [5, 6]. Причем желательно, чтобы справочные данные были не на бумажном носителе, а в какой-либо справочной информационной системе (далее – ИС). И не по одной РЭК, а по всем необходимым РЭК, используемым при разработке РЭА. А еще желательно дать разработчикам РЭА возможность обмениваться своими наработками и опытом. А еще лучше, если справочные данные по РЭК были в формате библиотеки системы автоматизированного проектирования (далее – САПР), используемой разработчиками РЭА, чтобы не приходилось повторно вводить информацию из справочной ИС в САПР, при этом разрабатывая векторные УГО и ПМ конкретной САПР из их растровых изображений, а затем сопоставляя выводы УГО и ПМ [7]. В общем создать объединенное информационное

пространство [8]. Некоторые разработчики и производители ЭКБ ОП уже несколько лет работают в этом направлении [9, 10]. Так компания «НПО «ЭРКОН» на момент написания статьи уже размещает на своем сайте www.erkon-np.ru для каждого своего РЭК характеристики, 3D-модель, библиотечное описание для САПР DeltaDesign и AltiumDesign.

2. Может быть нужно использовать сразу САПР в качестве справочной ИС?

Представим себе какое количество РЭК нужно иметь, чтобы удовлетворить всех разработчиков РЭА. Скорее всего это должен быть хотя бы Перечень ЭКБ разрешенных к применению в вооружении, военной и специальной технике (далее – ВВСТ), а это около 37 тысяч РЭК, а еще лучше и гражданскую продукцию добавить, а совсем хорошо добавить применяемую в отечественной РЭА ЭКБ ИП, а это уже миллионы РЭК. САПР всё-таки предназначены для разработки документации, печатных плат, проведения моделирования РЭА, а не для использования в качестве справочных ИС. То есть нужна выделенная справочная ИС, с которой могли бы взаимодействовать САПР, используемые разработчиками РЭА. Как об этом рассказывал П.П. Куцько в своём интервью: «Я часто приводил такой пример: однажды на одном предприятии я спросил разработчика, в чем разница применения отечественной и импортной ЭКБ, и он показал, как легко подгрузить в САПР модель импортного компонента, выполнить схемотехническую симуляцию и вписать компонент в конструкцию. «А для того, чтобы применить российский компонент, я должен пойти в библиотеку, найти ТУ в бумажном виде, вручную внести компонент в библиотеку, ввести его параметры, и хорошо, если компонент подойдет. Иначе придется идти в библиотеку снова», – объяс-

нил он. Только поиск ТУ может занимать больше времени, чем выбор импортного компонента, симуляция его работы и трассировка участка платы» [11]. Ключевым действием здесь является «легко подгрузить в САПР модель импортного компонента», причем под моделью разработчик понимал всю необходимую информацию («цифровой двойник», библиотечное описание конкретной САПР) по РЭК. Так можно поддержать авторов статьи «Анализ подхода к разработке библиотеки отечественной электронной компонентной базы для применения в современных средствах автоматизированного проектирования» [4], сделавших заключение: «Проведенный анализ показал, что разработка базы данных библиотек изделий ЭКБ ОП для САПР становится приоритетной задачей для оптимизации и сокращения сроков проектирования РЭА. Существование такой библиотеки априори делает применение при проектировании РЭА изделий ЭКБ ОП более привлекательным не только благодаря обеспечению постоянного доступа к электронному перечню электротехнических и массогабаритных изделий ЭКБ ОП без необходимости закупки ТУ на каждый отдельный компонент, но и за счет создания под каждый элемент необходимого инструментария для схемотехнического проектирования, разводки и моделирования воздействия на РЭА. Внедрение в САПР библиотек на отечественную ЭКБ, необходимых для разработки РЭА, уже показало свою эффективность в связи с резким ростом применения отечественных комплектующих, а внедрение новых аспектов реализации библиотечных моделей, таких как электрически активные УГО, DRC-проверки ПМ в соответствии с возможностями отечественных фабрик, а также привязка параметров материалов к 3D-моделям привели к снижению схемотехнических и конструкторских ошибок при проектировании аппаратуры. Отдельным нерешенным вопросом остается создание самой полной базы библиотек и справочников на номенклатуру отечественной ЭКБ, к которой могли бы подключаться проектировщики РЭА и работать с ней в рамках, используемых САПР». Многие разработчики РЭА создают для использования в своих проектах разработки аналогичные библиотеки РЭК. Однако полностью, даже при ведении ФГБУ «ВНИИР» «Перечня ЭКБ» и «ЭКБМаркет», вопрос полноты наполнения не решён.

В настоящее время есть четыре варианта наполнения характеристик РЭК:

1. На основе каталожных описаний (далее – КО), передаваемых разработчиками ЭКБ ОП в ФГБУ «ВНИИР» и АО «ЦИКЛОН-ТЕСТ».
2. Загружаться в ИС разработчиками ЭКБ ОП в соответствии с ГОСТ Р 55893.
3. Загружаться в ИС разработчиками ЭКБ в соответствии с ГОСТ Р 59988;
4. Загружаться разработчиками РЭА на основе применяемых в САПР характеристик.

В каждом варианте есть свои плюсы и минусы. Однако, так как наполнение ИС характеристиками ЭКБ нужно было сделать еще «вчера», желательно выбрать наименее затратный вариант, а именно просто перегрузить характеристики ЭКБ либо из «Перечня ЭКБ», либо из «ЭКБМаркет» с проверкой занесенных характеристик разработчиками ЭКБ и РЭА. Затем следует начать наполнять электронной документацией, решив вопрос с правообладателями, а также библиотечными описаниями РЭК наиболее популярных САПР. Например, DeltaDesign, P-CAD, AltiumDesign. Начать можно с создания библиотечных описаний, наиболее используемых РЭК, привлекая московские и региональные ВУЗы, подписавших соглашения о сотрудничестве с компанией «Эремекс» [12, 13].

Для производства РЭА мало только спроектировать его, используя необходимые РЭК, нужно, чтобы производители ЭКБ, поставщики ЭКБ, смогли обеспечить его поставку в нужные сроки, в нужных объемах и за наименьшую цену. Поэтому разработчику РЭА, при выборе РЭК для использования в проектируемом РЭА, нужна информация о сроках поставки, объема и ценах, чтобы не оказаться у «разбитого корыта» после окончания проектирования. Такая же информация нужна для планирования производства РЭА, о чем говорит П.П. Куцько, рассказывая о возможностях «ЭКБМаркет»: «Основная проблема отдела закупки потребителя связана с отсутствием оперативной достоверной информации о наличии ЭКБ на складах поставщиков либо о плане производства изготовителей ЭКБ. Если у этих трех-четырех квалифицированных поставщиков по каким-то причинам такого компонента нет, закупщики начинают обзванивать всех возможных поставщиков и использовать всевозможные предложения, создавая риски закупки сомнительных по качеству компонентов» [14]. Для стимулирования производителей и поставщиков ЭКБ своевременно предоставлять актуальные данные в этой же статье предлагается: «Механизм будет строиться на унифицированных формах, в которых все участники процесса будут подавать информацию. Эта информация автоматически будет загружаться в базу данных как со стороны поставщиков, так и со стороны испытательных центров, изготовителей, потребителей в том числе. С другой стороны, периодичность предоставления данных и их актуальность будет регулировать статус участника площадки. Чем чаще участник будет обновлять информацию, чем меньше у него будет откликов о недостоверности информации со стороны пользователей, тем выше будет рейтинг вне зависимости от того, кто это: потребитель, производитель ЭКБ или поставщик. Тем самым участник будет получать определенное преимущество в предложении своей продукции. Добавлю, что похожий механизм позволит гарантировать высокое качество поставляемой продукции и защиту

от контрафакта. Для тех, кто будет вновь подключаться, возможно проведение контрольных закупок или контрольных запросов для оценки актуальности и оперативности информации определенного участника. И по отклику от работы с этим участником будет определяться его оценочный рейтинг» [14]. Эти функции были в начальных версиях «ЭКБМаркет», однако после восстановления работоспособности «ЭКБМаркет» в конце 2022 года эти функции по каким-то причинам были убраны. В справочной ИС, на базе «ЭКБМаркет» или другой создаваемой ИС эти функции нужно восстановить и добавить возможность нахождения наиболее востребованной ЭКБ ОП с целью повышения унификации.

3. Как можно уменьшить себестоимость ЭКБ ОП?

Большинство экспертов и руководителей организаций, производящих ЭКБ ОП, считают, что это можно сделать, увеличив объемы производства за счёт вытеснения ЭКБ ИП с внутреннего рынка [15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22] с обеспечением гарантированного спроса и поддержки государством, а также экспорта продукции [15, 23, 24]. Причём не только изделий ЭКБ, но и экспорта РЭА. Одновременно с этим большой потенциал заложен за счёт унификации [21, 25, 26, 27]. Так при уменьшении количества типонаминов с 4000 до 200, объёмы выпуска оставшихся 200 вырастают в среднем в 20 раз [27]. Некоторые эксперты считают, что следует повышать культуру проектирования РЭА (избегать завышенных требований к ЭКБ, заменять несколько старых ЭКБ на один новый) и переходить к использованию ЭКБ ОП категории «ОТК» даже при производстве РЭА ВВСТ [3, 28]. Даже Минобороны России выпустило документ о таком использовании.

4. Что хотелось бы иметь в справочной ИС и чем бы она могла помочь производителям ЭКБ?

Прежде всего справочная ИС должна содержать не только ЭКБ ОП категории «ВП», но и «ОТК», так как во всём мире доля ЭКБ, используемой в ВВСТ не превышает 2 % [25] и ЭКБ ОП категории «ВП» занимала в отечественном производстве РЭА в 2018 году 15 % [29] и будет происходить постепенное уменьшение этой доли по мере вытеснения ЭКБ ИП с внутреннего гражданского рынка. Такая справочная ИС должна была бы уметь выделять унифицированные типонамины как ЭКБ ОП, так и ЭКБ ИП. Желательно было бы добавить планируемый спрос причём по каждому типонамину РЭК на ближайшие несколько лет. Для информационной поддержки экспорта нужно планировать использование многоязычности, а затем и автоматизированную загрузку информации в международные справочные ИС по ЭКБ. В дальнейшем нужно дорабатывать решение, чтобы превратить его в один из немногих международных мультиязычных порталов по ЭКБ.

Выше было показано, чем была бы полезна справочная ИС для разработчиков и производителей ЭКБ и РЭА. Однако эта же ИС могла стать инструментом Минпромторга России по реализации планов импортозамещения и увеличения объемов разработки и производства отечественных ЭКБ и РЭА.

5. Как обеспечить создание и эксплуатацию такой справочной ИС?

В 2018 году уже велась разработка такой справочной ИС — «ЭКБМаркет» [30]. Однако после её разработки и непродолжительного периода эксплуатации, она так и не вышла на полноценный режим эксплуатации, а затем и вовсе была прекращена её поддержка. В настоящее время в инициативном порядке её эксплуатация восстановлена, но в сильно усеченном варианте. Основная проблема кроется в прекращении финансирования её развития и эксплуатации Минпромторгом России. Так по мнению Куцько П.П.: «Несмотря на то, что речь идет о небольшой по отраслевым меркам сумме — порядка 200 млн. руб. на два года, что сравнимо с затратами на разработку одного транзистора — существует мнение, что финансирование этой площадки должно обеспечивать не государство, а сами заинтересованные предприятия» [11].

Рассмотрим варианты различного финансирования развития и эксплуатации справочной ИС. Исходим из того, что среднее финансирование создания/развития и эксплуатации справочной ИС должно быть порядка 100 млн. рублей в год. Определим преимущества и недостатки каждого варианта. Основных вариантов три: полное или частичное финансирование Минпромторгом России, полное или частичное финансирование разработчиками/производителями ЭКБ, полное или частичное финансирование разработчиками/производителями РЭА. Возможны ещё различные комбинации этих трёх вариантов.

1. Полное или частичное финансирование Минпромторгом России.

Для стабильного финансирования создания/развития и эксплуатации справочной ИС такая система должна создаваться как государственная и проходить все этапы, определенные в Постановлении Правительства Российской Федерации от 6 июля 2015 г. № 676 «О требованиях к порядку создания, развития, ввода в эксплуатацию, эксплуатации и вывода из эксплуатации государственных информационных систем и дальнейшего хранения содержащейся в их базах данных информации» (в редакции от 18 марта 2025 года). И если создание ИС ещё можно провести, финансируя работы по её созданию каким-либо способом, то для выделения средств на дальнейшую эксплуатацию нужно, чтобы ИС была государственной, а для этого необходимо преобразовать существующую ИС в государственную. Видимо из-за того, что ИС «ЭКБМаркет» не создавалась как государственная ИС, и была причина прекращения

финансирования её создания, сопровождения и эксплуатации. Финансирование Минпромторгом России процессов создания, сопровождения и эксплуатации ИС было бы самым стабильным и правильным решением, однако можно предположить, что при этом у оператора ИС не было бы стимулов к развитию ИС, удовлетворению пожеланий разработчиков/производителей ЭКБ и РЭА по доработкам, был бы возможен перекося функциональности в сторону пожеланий Минпромторга России, а не компаний, непосредственно работающих на рынках ЭКБ и РЭА. У оператора ИС не было бы стимула по привлечению новых пользователей ИС, так как от этого никак не зависело бы его финансирование.

2. Полное или частичное финансирование разработчиками/производителями ЭКБ.

Таких отечественных организаций порядка 300-400, значит в среднем каждая организация должна профинансировать создание/развитие справочной ИС на 250-330 тыс. рублей в год. Крупные организации или особо заинтересованные могли бы заплатить больше, малые и средние меньше. Финансирование может идти равными частями для каждой организации в случае пожертвований на информационное обеспечение ЭКБ, оплату рекламно-маркетинговых услуг. Такой платёж возможно разделить на ежемесячную оплату, чтобы уменьшить для организации разовую финансовую нагрузку. Возможно определение финансирования в зависимости от количества содержащихся в справочной ИС РЭК данной организации. В дальнейшем после превышения определенного количества в ИС разработчиков/производителей РЭА, возможно определения финансирования по количеству просмотров/скачиваний информации, а также запроса коммерческих предложений (цен) по РЭК данного производителя ЭКБ. При этом возможно частичное до 90 % субсидирование этих затрат производителям ЭКБ в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 июля 2021 года № 1252 «Об утверждении Правил предоставления из федерального бюджета субсидий российским организациям на финансовое обеспечение части затрат на создание электронной компонентной базы и модулей» (в редакции от 18 марта 2025 года) после внесения в него соответствующих изменений. При этом варианте финансирование менее стабильное, какие-то производители ЭКБ могут от него отказаться в силу небольшого количества производимых ими РЭК. Но при этом за созданием будет вестись контроль со стороны производителей ЭКБ, справочная ИС будет развиваться с их пожеланиями, а в дальнейшем оператору ИС придётся стараться для увеличения просмотров/скачиваний, рассылки запросов коммерческих предложений (цен) от разработчиков/производителей РЭА. С увеличением количества производителей ЭКБ финансовая нагрузка на них может постепенно снижаться.

3. Полное или частичное финансирование разработчиками/производителями РЭА.

Таких отечественных организаций порядка 3000, значит в среднем каждая организация должна профинансировать создание/развитие справочной ИС на 35 тыс. рублей в год. Финансирование может идти равными частями для каждой организации в случае пожертвований на информационное обеспечение ЭКБ, оплату информационных услуг. Это чем-то похоже на подписку на научные журналы Scopus и Web of Science или доступ к web-решениям Гарант и Консультант+. Такой платёж возможно разделить на ежемесячную оплату, чтобы уменьшить для организации разовую финансовую нагрузку. После превышения определенного количества в ИС разработчиков/производителей РЭА, возможно определение финансирования по количеству просмотров/скачиваний информации, а также запроса коммерческих предложений (цен) по РЭК данным разработчиком/производителем РЭА. При этом возможно частичное до 90 % субсидирование этих затрат разработчикам/производителям РЭА в соответствии с Решением Минпромторга России от 09.12.2025 № 23-67771-00835-Р «О порядке предоставления субсидии российским организациям на финансовое обеспечение мероприятий по проведению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области средств производства электроники (Версия 1)» после внесения в него соответствующих изменений. При этом варианте финансирование менее стабильное, какие-то организации могут от него отказаться в силу небольшого количества производимой ими РЭА. Но при этом за созданием будет вестись контроль со стороны разработчиков/производителей РЭА, справочная ИС будет развиваться с их пожеланиями, а в дальнейшем оператору ИС придётся стараться для увеличения просмотров/скачиваний, рассылки запросов коммерческих предложений (цен) от разработчиков/производителей РЭА. С увеличением количества разработчиков/производителей РЭА стоимость доступа к справочной ИС для них может снижаться. Разработчики/производители/поставщики материалов, оборудования, услуг могли бы оплачивать рекламу, размещённую на страницах справочной ИС. Можно также собирать пожертвования (донаты) от граждан на развитие информационного обеспечения микро и радиоэлектроники.

Заключение

По-видимому, наиболее справедливым вариантом был бы следующий. Оплатить создание/развитие (200 млн. рублей на 2 года) могли бы либо Минпромторг России, либо производители ЭКБ. Возможно также создание консорциума поддержки создания справочной ИС. 20-40 крупных производителей ЭКБ, готовых вложить от 2,5 до 5,0 млн. рублей в год каждый. После создания справочной ИС, полученное программное обеспечение могло бы также

быть передано им для использования в их работе. В дальнейшем после превышения в ИС определенного количества производителей РЭА, производители ЭКБ могли бы оплачивать эксплуатацию справочной ИС, либо по количеству занесенных РЭК (что может привести к отказу от внесения новых компонентов), либо также, но с учётом объёма их производства, либо по количеству просмотров/скачиваний информации, а также запросов коммерческих предложений (цен) по РЭК данного производителя ЭКБ. Для разработчиков/производителей РЭА доступ к справочной ИС должен быть бесплатным (все международные справочные ИС бесплатны для лиц их использующих, при том, что даже при незначительной стоимости доступа происходит резкое снижения востребованности платной информации), но в то же время предлагать им внести пожертвования на развитие справочной ИС, если она помогла в их работе.

Пришло время от многочисленных обсуждений перейти к активной работе с заинтересованными разработчиками, производителями, поставщиками ЭКБ и РЭА.

Литература

1. Алексеев В., Боков С. «Совершенствование научно-методического аппарата процессов снижения импортозависимости радиоэлектронной аппаратуры от ЭКБ иностранного производства». // *Электроника: Наука, технология, бизнес.* – 2021. – № 1. – С. 162-165.
2. Щепанов А. «Развитие российской электронной компонентной базы: взгляд эксперта». // *Электроника: Наука, технология, бизнес.* – 2019. – № 7. – С. 74-77.
3. Миронюк В. «Совместное заседание предприятий Госкорпорации «Росатом» и Секции № 9 МРГ при коллегии ВПК РФ». // *Электроника: Наука, технология, бизнес.* – 2022. – № 1. – С. 38-43.
4. Стешенко В., Краснов М., Шалимов А., Лукьянов Е., Керимов А. «Анализ подхода к разработке библиотеки отечественной электронной компонентной базы для применения в современных средствах автоматизированного проектирования». // *Компоненты и технологии.* – 2022. – № 5. – С. 74-77.
5. Чупринов А.А. Колядин А.И., «Направления развития электронных информационных ресурсов радиоэлектронной отрасли». // *Радиоэлектронная отрасль: Проблемы и их решения.* – 2021. – № 1. – С. 18-21.
6. Колядин А.И. «Вопросы представления информации по электронным компонентам в радиоэлектронной отрасли». // *Радиоэлектронная отрасль: Проблемы и их решения.* – 2022. – № 2(6). – С. 35-40.
7. Дормидошина Д.А. «Порядок разработки моделей инновационной электронной компонентной базы, их актуализация и поддержка в течение стадий жизненного цикла». // *Радиоэлектронная отрасль: Проблемы и их решения.* – 2022. – № 2(6). – С. 4-8.
8. Андрейченко А.А., Чупринов А.А. «МДМ-система, инструмент интеграции информационных ресурсов в процессе создания объединенного информационного пространства радиоэлектронной отрасли страны». // *Радиоэлектронная отрасль: Проблемы и их решения.* – 2021. – № 2. – С. 21-27.
9. Белков И., Еремеев Ю., Малышев И., Рыбкин С. «Разработка моделей отечественных пассивных электронных компонентов и их интеграция в системы автоматизированного проектирования». // *Электроника: Наука, технология, бизнес.* – 2021. – № 3. – С. 80-86.
10. Белков И., Еремеев Ю., Малышев И. «Библиотеки электронных компонентов для отечественных САПР». // *Электроника: Наука, технология, бизнес.* – 2022. – № 3. – С. 84-89.
11. Куцько П.П., Ковалевский Ю.С. «Применение отечественной ЭКБ должно стать удобным и простым». // *Электроника: Наука, технология, бизнес.* – 2021. – № 2. – С. 22-28.
12. Беспалов В.А. «Миссия нашего университета – раскрывать таланты». // *Электроника: Наука, технология, бизнес.* – 2022. – № 7. – С. 12-18.
13. Плаксин А.А. «Отечественная САПР как эффективная альтернатива зарубежным системам». // *Электроника: Наука, технология, бизнес.* – 2021. – № 2. – С. 72-73.
14. Куцько П.П. «Онлайн-платформа ЭКБ должна быть доступной и приносить пользу каждому из ее участников». // *Вектор высоких технологий.* – 2018. – № 4. – С. 4-8. *Российская электроника. Взгляд в будущее.* // *Электроника: Наука, технология, бизнес.* – 2019. – № 6. – С. 42-50.
15. Василенко А.С. «Чудес не бывает. Но многие продолжают на них надеяться». // *Электроника: Наука, технология, бизнес.* – 2023. – № 1. – С. 12-18.
16. Попов С. «Российские производители гражданской электроники станут основными игроками рынка». // *Электроника: Наука, технология, бизнес.* – 2019. – № 7. – С. 22-23.
17. Эннс В. «Меры по развитию отечественной микроэлектроники в современных условиях». // *Электроника: Наука, технология, бизнес.* – 2022. – № 6. – С. 86-92.
18. Кондрашов З.К. «НИИМА «Прогресс»: реализованные проекты и стратегия развития». // *Электроника: Наука, технология, бизнес.* – 2022. – № 2. – С. 20-22.
19. Кондрашов З.К. «Надо научиться в это непростое время сообща решать общие задачи». // *Электроника: Наука, технология, бизнес.* – 2022. – № 7. – С. 20-25.

20. Егоров А.В. «Наилучшая поддержка для производителя – обеспечение гарантированного спроса на длительный период». // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2022. – № 9. – С. 24-29.
21. Легостаева С.С. «Для развития отечественной вычислительной техники мы должны действовать вместе». // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2020. – № 6. – С. 12-18.
22. Фомина А.В. «Асимметричный ответ Российской электроники». // «Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем». Сборник докладов Первой Всероссийской научной конференции. Санкт-Петербург, 2020 – С. 180-186.
23. Трошин А.В. «Наша цель – стать центром промышленного инжиниринга мирового уровня». // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2021. – № 8. – С. 80-86.
24. Павлюк М.И., Новоселов А.Ю. «В России можно создавать современные микросхемы». // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2011. – № 5. – С. 14-25.
25. Власов С.Е. «Мы открыты для любого диалога». // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2015. – № 9. – С. 12-20. (в Роскосмосе больше чем в Росатоме ЭКБ, унификация).
26. Ковалевский Ю. «Формирование дорожной карты развития отечественной пассивной ЭКБ». Расширенное заседание экспертного совета Консорциума «Пассивные электронные компоненты». // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2024. – № 1. – С. 44-50.
27. Ковалевский Ю. «Вопросы обеспечения предприятий радиоэлектронной отрасли электронной компонентной базой». XI Всероссийская научно-техническая конференция «ЭКБ 2022». // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2022. – № 9. – С. 48-52.
28. Авдонин Б., Макушин М. «Микроэлектроника: CHIPS Act и расширение производственной базы в США». // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2023. – № 8. – С. 124-131.
29. Казанцева О. «Электроника в России: будущее отрасли». // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2020. – № 1. – С. 32-37.
30. Исаев А.А. «Электронная промышленность – развитие против кризиса». // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2020. – № 7. – С. 12-18.

УДК 621.391

ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПЕРИОДИЧНОСТИ И ОБЪЁМА ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ В УПРАВЛЕНИИ ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ СРЕДНЕЙ И БОЛЬШОЙ ДАЛЬНОСТИ С КОНТРОЛЕМ ПАРАМЕТРОВ

DECISION-MAKING WHEN FORECASTING THE FREQUENCY AND SCOPE OF PREVENTIVE MEASURES IN MANAGING THE TECHNICAL CONDITION OF MEDIUM- AND LONG-RANGE UNMANNED AERIAL VEHICLES WITH PARAMETER MONITORING

Потапов А.Н., д. т. н., профессор, профессор кафедры «Вычислительной техники и информационных систем», +7 (980) 546-71-68, potapov_il@mail.ru, **Кузнецов В.А.**, аспирант, +7 (920) 223-33-08, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», **Громов Ю.Ю.**, д. т. н., профессор, профессор кафедры «Информационных систем и защиты информации, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», +7 (953) 703-02-22, gromovtambov@yandex.ru

Potapov A.N., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor in the Department of Computer Engineering and Information Systems at the G.F. Morozov Voronezh State Forest Engineering University, +7 (980) 546-71-68, potapov_il@mail.ru, **Kuznetsov V.A.**, graduate student at the G.F. Morozov Voronezh State Forest Engineering University, +7 (920) 223-33-08;

Gromov Yu.Yu., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor, Department of Information Systems and Information Security, Tambov State Technical University, +7 (953) 703-02-22, gromovtambov@yandex.ru

Аннотация: в современных условиях эксплуатации беспилотных летательных аппаратов средней и большой дальности всё шире применяются подходы к техническому обслуживанию, основанные на периодическом контроле и учёте фактического технического состояния оборудования. На этапе эксплуатации наибольшую практическую ценность представляет профилактика, основанная на прогнозировании состояния беспилотных летательных аппаратов. Различные ограничения в планировании технического обслуживания подчеркивают необходимость внедрения интеллектуальных методов управления техническим состоянием, в основе которых лежит анализ диагностических параметров и прогнозирование вероятных отказов. Особен-

но актуальной становится задача планирования и управления профилактическими мероприятиями, адаптированными под реальные параметры функционирования конкретных систем. В данной работе рассматриваются методологические основы разработки алгоритмического обеспечения, направленного на прогнозирование оптимальной периодичности и объёма профилактических работ с учётом динамики изменения технического состояния беспилотных летательных аппаратов средней и большой дальности. В работе показано, что переход к стратегиям технического обслуживания, основанным на контроле параметров и прогнозировании состояния, позволяет значительно повысить эффективность эксплуатации беспилотных летательных аппаратов средней и большой дальности. Разработанный трехэтапный алгоритм прогнозирования реализован в виде программного модуля, позволяющего рассчитывать как оптимальные интервалы между профилактиками, так и необходимый объём работ, исходя из заданного уровня надёжности. Предложенный подход сочетает в себе статистические и инструментальные методы. Он также обеспечивает баланс между надёжностью и экономичностью. Разработанное алгоритмическое обеспечение может быть интегрировано в современные системы управления жизненным циклом сложных технических объектов.

Annotation: in modern operating conditions of medium- and long-range unmanned aerial vehicles (UAVs), approaches to maintenance based on periodic monitoring and recording of the actual technical condition of the equipment are increasingly being used. At the operational stage, the greatest practical value is provided by preventive maintenance based on forecasting the condition of unmanned aerial vehicles. Various limitations in maintenance planning highlight the need to implement intelligent methods of technical condition management, based on the analysis of diagnostic parameters and the prediction of probable failures. The task of planning and managing preventive measures adapted to the actual operating parameters of specific systems is becoming particularly pressing. This paper examines the methodological foundations for developing algorithmic support aimed at predicting the optimal frequency and scope of preventive maintenance, taking into account the dynamics of changes in the technical condition of medium- and long-range unmanned aerial vehicles. The study demonstrates that transitioning to maintenance strategies based on parameter monitoring and condition prediction significantly improves the operational efficiency of medium- and long-range UAVs. The developed three-stage prediction algorithm is implemented as a software module that calculates both optimal maintenance intervals and the required scope of work based on a specified reliability level. The proposed approach combines statistical and instrumental methods. It also ensures a balance between reliability and cost-effectiveness. The developed algorithmic support can be integrated into modern lifecycle management systems for complex technical facilities.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты средней и большой дальности, техническое состояние, контроль параметров, система управления, профилактические мероприятия.

Keywords: medium- and long-range unmanned aerial vehicles, technical condition, parameter monitoring, control system, preventive maintenance.

Научная специальность: 2.3.8. Информатика и информационные процессы.

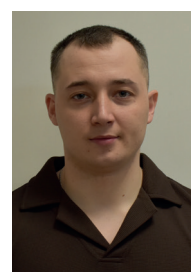
Введение

Современные тенденции в области эксплуатации беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА) средней и большой дальности ориентированы на продление ресурса техники при одновременном снижении эксплуатационных затрат [1, 2, 3]. Одним из ключевых направлений достижения этой цели является переход от жёстко регламентированного технического обслуживания к гибким стратегиям, основанным на мониторинге текущего состояния оборудования. Такой подход позволяет не только поддерживать высокую готовность аппаратов к применению, но и минимизировать избыточные затраты на обслуживание [4]. Однако существующие практики планирования технического обслуживания (далее – ТО) сталкиваются с рядом проблем [1, 5, 6]:

- значительное влияние случайных эксплуатационных факторов приводит к тому, что даже при одинаковой наработке различные экземпляры БПЛА могут находиться в принципиально разном техническом состоянии;



Потапов А.Н.



Кузнецов В.А.



Громов Ю.Ю.

- традиционные регламенты ТО часто не учитывают конструктивные и технологические особенности отдельных компонентов, предписывая единые процедуры для всех узлов;

- низкая ремонтпригодность некоторых модулей увеличивает трудоёмкость и стоимость профилактических мероприятий.

Эти ограничения подчеркивают необходимость внедрения интеллектуальных методов управления техническим состоянием, в основе которых лежит

анализ диагностических параметров и прогнозирование вероятных отказов.

Для обеспечения высокой оперативной готовности беспилотных летательных аппаратов средней и большой дальности на всех этапах жизненного цикла применяются различные методы повышения надёжности. Среди них особенно выделяются [7, 8]:

- совершенствование конструкции и технологии изготовления элементов;
- защита от внешних дестабилизирующих факторов;
- рациональное проектирование схем и режимов работы;
- резервирование критических компонентов;
- профилактика отказов на основе прогнозирования их возникновения.

На этапе эксплуатации наибольшую практическую ценность представляет последний подход – профилактика, основанная на прогнозировании.

Она реализуется двумя основными способами [9, 10, 11].

1. Статистическое прогнозирование – используется тогда, когда невозможно выявить или измерить диагностический параметр. Оно базируется на анализе статистики безотказной работы однотипных изделий и предполагает замену или регулировку по истечении установленного времени наработки.

2. Инструментальное прогнозирование – применяется при наличии чувствительных к старению параметров, которые можно измерять в процессе эксплуатации. Данный метод позволяет индивидуализировать график профилактики для каждого конкретного аппарата.

Инструментальный подход особенно эффективен в системах с контролем параметров, поскольку обеспечивает более точную оценку остаточного ресурса и позволяет избежать как преждевременного, так и запоздалого вмешательства [12, 13].

Основная часть

Рассмотрим изделие, техническое состояние которого описывается вектором параметров $X(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_k(t)\}$. Работоспособность сохраняется, пока этот вектор находится внутри допустимой области S_0 .

В процессе эксплуатации параметры изменяются случайным образом, образуя случайный процесс (далее – СП) [14, 15].

Пусть в момент времени $t_k^j \geq t_1^j$ проведён контроль и известна реализация $x^j(t) \in S_0, t_1^j \leq t \leq t_k^j$ для СП $X(t)$.

Задача прогнозирования сводится к определению условной вероятности безотказной работы:

$$P^*(s) = P\{X(s) \in S_0 / x^j(t)\}, \quad t_1^j \leq t \leq t_k^j, \quad s \geq t_k. \quad (1)$$

Условная вероятность безотказной работы определялась до момента $s > t_k$, при условии, что до t_k отказ не произошёл.

Для решения этой задачи используется оператор прогноза Φ_T , связывающий прошлое состояние с будущей надёжностью:

$$P^*(s) = \Phi_T[x_j(t)], \quad t_1 \leq t \leq t_k, \quad s > t_k. \quad (2)$$

Поскольку данные контроля всегда содержат погрешности, целесообразно использовать гауссовскую модель СП. Для её описания применяется каноническое разложение Пугачёва [9, 16]:

$$X(t) = m(t) + \sum_v V_v \varphi_v(t) \quad (3)$$

где $m(t)$ – математическое ожидание;

V_v – некоррелированные случайные коэффициенты;

$\varphi_v(t)$ – детерминированные базисные функции.

Такое представление обладает важным преимуществом: оно минимизирует среднеквадратичную ошибку приближения и применимо к любым реальным СП с конечной дисперсией [17, 18].

На основе этого разложения разработан трёхэтапный алгоритм прогнозирования. Принятие решений при реализации трехэтапного алгоритма прогнозирования в управлении техническим состоянием БПЛА средней и большой дальности с контролем параметров на основе аналитико-вероятностного прогнозирования представлено на рис. 1.

Аналитическое описание СП – формирование модели, пригодной для генерации множества реализаций:

$$X(i) = m(i) + \sum_{v=1}^i V_v \varphi_v(i), \quad i = \overline{1, I}, \quad (4)$$

где $\varphi_v(v) = 1, \varphi_v(i) = 0$ при $v > i$.

Выражение для дисперсии процесса имеет вид:

$$D(i) = \sum_{v=1}^i D_v \varphi_v^2(i). \quad (5)$$

Элементы канонического представления определяются как:

$$\begin{aligned} V_1 &= \overset{\circ}{X}(1); \\ V_i &= \overset{\circ}{X}(i) - \sum_{v=1}^{i-1} V_v \varphi_v(i), \quad i = \overline{2, I}; \\ D_1 &= D(1); \\ D_i &= D(i) - \sum_{v=1}^{i-1} D_v \varphi_v^2(i), \quad i = \overline{2, I}; \\ \varphi_v(i) &= \frac{1}{D_v} M \left[V_v \overset{\circ}{X}(i) \right], \quad v = \overline{1, I}, \quad i = \overline{v, I}, \end{aligned} \quad (6)$$

где $\overset{o}{X}(i) = X(i) - m(i)$ – значение центрированного СП в момент $t = t_i$.

Уточнение модели по данным контроля – вычисление апостериорного математического ожидания и дисперсии с учётом известной реализации:

$$m^{(0)}(i) = m(i), \quad i = \overline{1, I}; \quad (7)$$

$$m^{(k)}(i) = m^{(k-1)}(i) + [x(k) - m^{(k-1)}(i)]\varphi_k(i)$$

$$X^{(k)}(i) = m^{(k)}(i) + \sum_{v=k+1}^i V_v \varphi_v(i), \quad i = \overline{1, I}. \quad (8)$$

Формула (7) описывает в точках t_i математическое ожидание апостериорного СП, а выражение (8) при тех же условиях непосредственно СП.

Моделирование и экстраполяция – генерация ансамбля возможных траекторий развития параметров и оценка вероятности выхода за пределы допуска:

$$D_{(i)}^{(k)} = \sum_{v=k+1}^i D_v \varphi_v^2(i) \quad i = \overline{k+1, I}. \quad (9)$$

Эффективность экстраполяции определяется как:

$$E_{\dot{y}}(k, i) = 1 - \frac{D_{(i)}^{(k)}}{D_{(i)}}, \quad i = \overline{1, k}. \quad (10)$$

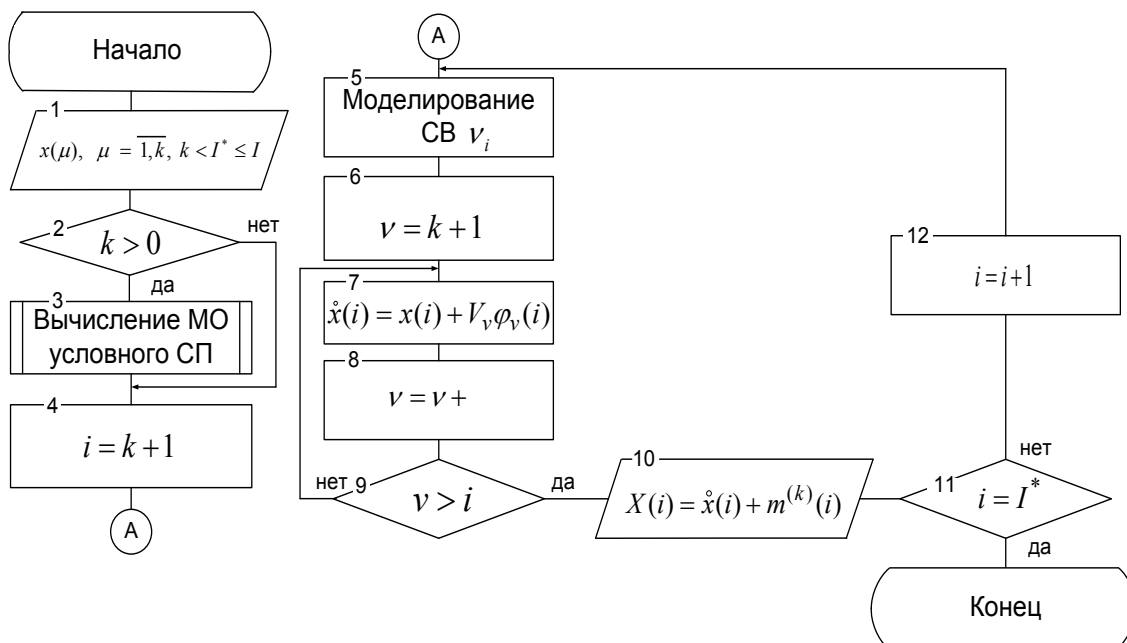


Рис. 1. Принятие решений при реализации трехэтапного алгоритма прогнозирования в управлении техническим состоянием БПЛА средней и большой дальности с контролем параметров на основе аналитико-вероятностного прогнозирования

Алгоритм реализован в виде программного модуля, позволяющего рассчитывать как оптимальные интервалы между профилактиками, так и необходимый объем работ, исходя из заданного уровня надёжности.

Заключение

Переход к стратегиям технического обслуживания, основанным на контроле параметров и прогнозировании состояния, позволяет значительно повысить эффективность эксплуатации БПЛА средней и большой дальности. Предложенный подход, сочетающий статистические и инструментальные методы, обеспечивает баланс между надёжностью и экономичностью. Разработанное алгоритмическое обеспечение может быть интегрировано в современные системы управления жизненным циклом сложных технических объектов.

Литература

1. «Управление техническим состоянием динамических систем» / Буравлев А.И. [и др.]; под общ. ред. Казакова И.Е. – М.: Машиностроение, 1995. – 323 с.
2. «Основы эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры: учеб. пособие для студентов вузов» / Быкодоров А.К. [и др.]; под ред. Лавриненко В.Ю. – М.: Высшая школа, 1978. – 320 с.
3. Барзилович Е.Ю. «Статистические методы оценки состояния авиационной техники» / Барзилович Е.Ю., Савенков М.В. // – М.: Транспорт, 1987. – 240 с.
4. Потапов А.Н. «Способ автоматизированного отождествления траекторий групповых воздушных целей на основе системного анализа и обработки информации в комплексах средств автоматизации» / Потапов А.Н., Хайбутов К.Е.,

- Землянюк П.Н. // Моделирование систем и процессов. Том 18, выпуск 1. 2025. – С. 96-103.
5. Потапов А.Н. «Декомпозиция задачи системного анализа целераспределения носителей в обезоруживающей стратегической операции ядерных сил вероятного противника, как задачи выпуклого блочного программирования» / Потапов А.Н., Коломийцев Е.Г., Перевозчиков А.Г., Юдина П.А. // Моделирование систем и процессов. Том 18, выпуск 2. 2025. – С. 70-77.
6. Ильичев А.В. «Эффективность проектируемых элементов сложных систем» / Ильичев А.В., Волков В.Д., Грущанский В.А. – М.: Высшая школа, 1982. – 280 с.
7. Саати Т. «Аналитическое планирование. Организация систем: пер. с англ.» / Саати Т., Кернс К. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
8. Потапов А.Н. «Проектирование сложных автоматизированных информационных систем освоения эрготехнических комплексов» // Труды «Эффективность АСУ авиацией, систем связи и РТО». Выпуск 112. Часть 3. (Эффективность систем РТО полетов авиации) - Ногинск: ЦНИИ ВВС МО РФ, 2015. С. 61-67.
9. Пугачев В.С. «Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления» / В.С. Пугачев. – М.: Физматгиз, 1962. – 884 с.
10. Александровская Л.Н. «Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем» / Александровская Л.Н. – М.: Логос, 2003. – 208 с.
11. Лебедев В.В. «Оптимизация методов технического обслуживания радиотехнических систем» / Лебедев В.В., Моисеев С.Н. // Вестник Казанского технологического университета, № 14, 2013. С. 178-181.
12. Смирнов Н.Н. «Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию» / Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. – М.: Транспорт, 2007. – 272 с.
13. Буешев Е.Е. «Техническая эксплуатация радиоэлектронных средств по состоянию» // Научно-методический сборник материалов Международной военно-научной конференции «Основные направления адаптации объединенной системы ПВО государств – участников СНГ к решению задач воздушно-космической обороны». Том 1. Тверь: ВА ВКО, 2016. – С. 33-38.
14. Лебедев В.В. «Модель технического обслуживания комплексов средств автоматизации» / Лебедев В.В., Зырянов Ю.Т., Потапов А.Н. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), 2014. – 98 с.
15. Ачкасов Д.А. «Изучение и моделирование эвристических алгоритмов оптимизации» / Ачкасов Д.А., Зольников К.В., Литвинов Н.Н. // Моделирование систем и процессов. Том 18, выпуск 1. 2025. – С. 17-27.
16. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ 2007610585 Российская Федерация. Оптимизация периодичности и объема профилактических работ при планировании и организации технического обслуживания комплексов («ОПОПР – ПОТОК») / Лебедев В.В., Потапов А.Н.; заявитель и правообладатель Лебедев В.В. – № 2006614190; заявл. 08.12.06; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ Роспатента 06.02.07. – 1 с.
17. Лебедев В.В. «Оптимизация методов технического обслуживания радиотехнических систем» / Лебедев В.В., Моисеев С.Н. [и др.] Вестник Казанского технологического университета, № 14, 2013. С. 178-181.
18. Frank P.M. "Fault diagnosis in dynamic systems using analytical and knowledge-based redundancy" / Frank P.M. // Automatica. – 2001. – V. 26, № 3. – P. 459 – 474.

УДК 004.93: 004.822: 612.014.42: 621.865.8

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ И ЗНАНИЙ В УПРАВЛЕНИИ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА**INFORMATION PROCESSES OF DATA AND KNOWLEDGE INTEGRATION IN BIOELECTRIC SYSTEMS CONTROL BASED ON A FUNCTIONAL-PROCESS APPROACH**

Могильников А.В., аспирант, ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», преподаватель кафедры высшей математики, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», инженер-конструктор конструкторского отдела систем возбуждения энергетических машин, АО «Силовые машины»,
+7 (951) 950-52-88, mogilnikov.andrej@mail.ru,

Трусов А.В., д. т. н, доцент, начальник научно-методического управления ФГБУ «ВНИИР», профессор кафедры «Информационные технологии и автоматизированные системы», ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,
+7 (909) 119-11-11, tav@permnti.ru

Mogilnikov A.V., Postgraduate Student at Perm National Research Polytechnic University, Lecturer at the Department of Higher Mathematics of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Design Engineer at the Excitation Systems Design Department of Power Machines, JSC, +7 (951) 950-52-88, mogilnikov.andrej@mail.ru;
Trusov A.V., D. Sc. in Engineering, Associate Professor, Head of the Research and Methodology Department at the All-Russian Research Institute of Radio Electronics, Professor of the Department of Information Technologies and Automated Systems at the Perm National Research Polytechnic University,
+7 (909) 119-11-11, tav@permnti.ru

Аннотация: рассматривается функционально-процессный подход управления биоэлектрической системой на основе использования методологии системного анализа, реализованной на базе аппаратно-программного комплекса регистрации биосигналов BiTronics NeuroLab и микропроцессорного контроллера управления исполнительными механизмами LEGO® MINDSTORMS® Education EV3. Предложенная в рамках функционально-процессного подхода модель обеспечивает системную декомпозицию механизмов сопряжения человека-оператора и технического устройства, детально описывает трансформацию исходных биоэлектрических потенциалов человека, таких как электромиограммы и электроэнцефалограммы, и кинематических сигналов от датчиков робототехнических устройств в детерминированные управляющие команды. Формализация процессов способствует разделению данных, представленных в виде динамических сигналов, и знаний, рассматриваемых как статические и адаптируемые правила обработки, что крайне необходимо для создания надежных и интуитивно понятных биоэлектрических интерфейсов.

Annotation: this article discusses a functional-process approach to the control of a bioelectric system based on the use of system analysis methodology. The approach is implemented using the BiTronics NeuroLab hardware and software system for recording biosignals and the LEGO® MINDSTORMS® Education EV3 microprocessor controller for actuator control. The model proposed within the framework of the functional-process approach provides a systematic decomposition of the mechanisms of coupling between a human operator and a technical device. It describes in detail the transformation of raw human bioelectric potentials – such as electromyograms and electroencephalograms – and kinematic signals from robotic device sensors into deterministic control commands. The formalization of processes facilitates the separation of data (represented as dynamic signals) from knowledge (considered as static and adaptable processing rules), which is crucial for creating reliable and intuitive bioelectric interfaces.

Ключевые слова: информационные процессы, управление биоэлектрической системой, интеграция данных и знаний, функционально-процессные модели, биологическая обратная связь, распознавание паттернов, алгоритмическое обеспечение, электромиография, база знаний, робототехнический комплекс.

Keywords: information processes, bioelectric system control, data and knowledge integration, functional-process models, biofeedback, pattern recognition, algorithmic support, electromyography, knowledge base, robotic system.

Научная специальность: 2.3.8. Информатика и информационные процессы.

Введение

На современном этапе развития все более существенную роль в жизнедеятельности человека начинают играть биоэлектрические системы. Значительные результаты исследований, достигнутые за последние годы в области биоэлектрического управления, создают предпосылки для решения научно-практических задач, связанных с использованием биоэлектрических систем для управления различными манипуляционными устройствами робототехнических комплексов [1]. Биоэлектрическое управление (далее – БЭУ) – это управление, использующее в качестве команд или сигналов обратной связи сигналы биоэлектрической активности [2]. Наиболее широкое распространение получили методы БЭУ, в основе которых лежит использование биоэлектрической активности мышц. Преимущества использования биопотенциалов в качестве управляющих сигналов, как показывает накопленный в электрофизиологии опыт, обусловлены тремя основными причинами:

1. Биоэлектрические потенциалы, генерируемые различными возбудимыми тканями, обладают достаточно высокой информативностью, поскольку отражают изменения состояния как отдельных клеточных структур, так и целых органов и систем.

2. Биоэлектрические потенциалы позволяют создавать системы управления, обладающие высокой оперативностью, поскольку их изменения предшествуют изменениям ряда других физиологических показателей и отражают сдвиги этих показателей в микроинтервалах времени.



Могильников А.В.



Трусов А.В.

3. Биопотенциалы с технической точки зрения – наиболее удобный вид сигнала в связи с относительной простотой их преобразования в форму, пригодную для управления.

Эти особенности определили необходимость развития качественно новых информационных процессов, обеспечивающих эффективное взаимодействие и трансформацию биоэлектрических сигналов в контуре управления биоэлектрической системой.

Основная часть

Формирование функционально-процессной модели управления биоэлектрической системой

Для верификации функциональных возможностей, детального анализа и формализации информационных интерфейсов в разрабатываемой биоэлектрической системе была сформирована функционально-процессная модель управления биоэлектрической системой (рис. 1).

Разработанная модель процесса управления биоэлектрической системой, позволила структурировать

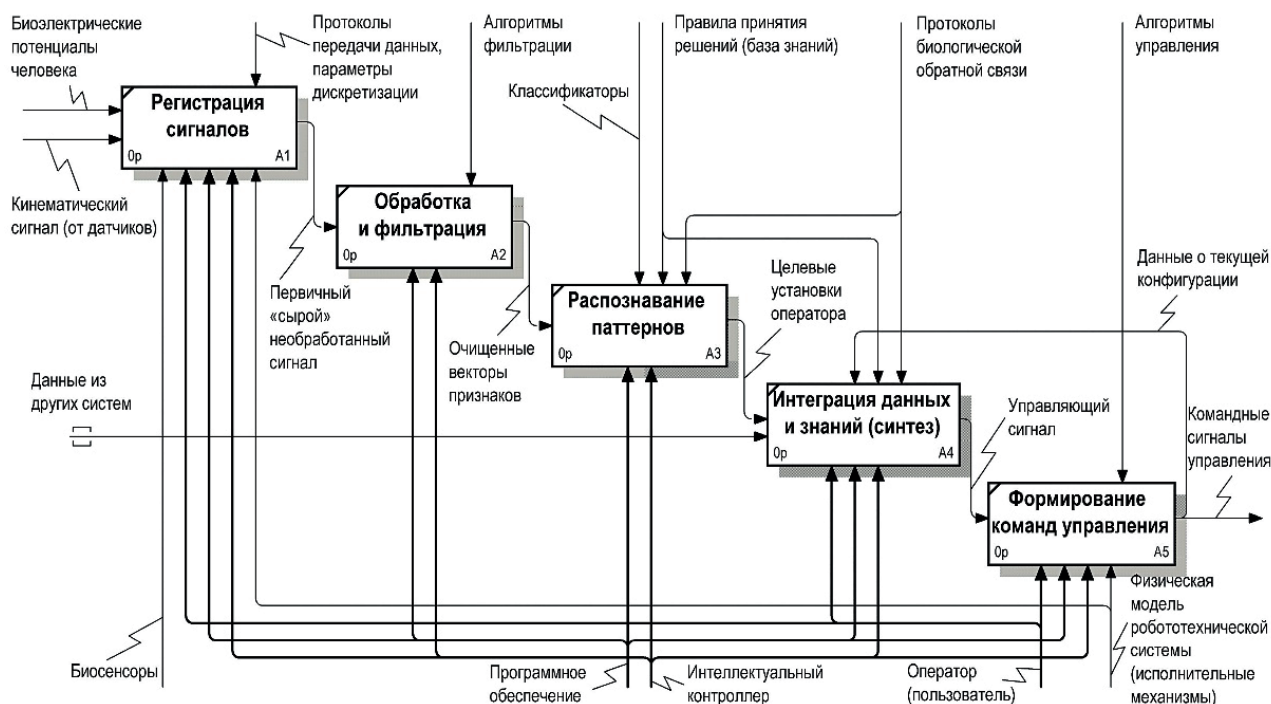


Рис. 1. Функционально-процессная модель управления биоэлектрической системой

этапы обработки входных сигналов и их последующее преобразование на всем цикле в сигналы управления для исполнительных устройств, составляющих основу физической модели (макета протеза). Модель обеспечивает системную декомпозицию процесса управления, которая отличается от существующих традиционных функциональных схем логикой обработки данных, и позволяет выделить в явном виде ключевые этапы преобразования первичных признаков в исполнительные команды.

Синхронизация и регистрация биоэлектрических и технических данных

В процессе синхронизации и регистрации биоэлектрических и технических данных система осуществляет прием первичных информационных потоков из двух независимых источников. Во-первых, по биологическому каналу проводится регистрация электрофизиологических показателей оператора (включая электроэнцефалографию, электромиографию, данные о частоте сердечных сокращений и дыхании) при помощи биосенсоров. Во-вторых, по техническому каналу поступают данные телеметрии с датчиков робототехнической системы, включающие сведения о пространственном положении и параметрах работы приводов (вращающий/пусковой момент, скорость вращения).

Регистрация указанных выше данных выполняется с помощью аппаратных интерфейсов и аналого-цифрового преобразователя, при этом функции вычислительного ядра и агрегации первичных сигналов обеспечивают интеллектуальный контроллер EV3 и центральный модуль BiTronics. Аппаратная интеграция биосенсоров BiTronics и контроллера EV3 осуществляется на базе типовых коммуникационных портов стандарта RJ12 и специализированного программного обеспечения. Управление процессом регистрации биосигналов и кинематических данных реализуется при помощи стандартных протоколов передачи данных, таких как Bluetooth, USB 2.0, I2C, RS485/UART и Wi-Fi, которые выполняют сопряжение периферийных устройств физической модели и ее центрального узла [3, 4].

В результате реализации процесса формируются необработанные массивы данных, требующие последующей цифровой фильтрации и децимации для их подготовки к процедуре классификации.

Цифровая обработка и фильтрация

Процесс цифровой обработки и фильтрации осуществляет основные преобразования данных, в том числе:

- программное масштабирование (или калибровка значений): приведение амплитуды цифрового сигнала к исходным физическим величинам;
- цифровая фильтрация (или частотная селекция): подавление помех и артефактов движения для повышения соотношения сигнал/шум (SNR) и обе-

спечения достоверности интерпретации данных;

- нормализация (или амплитудное выравнивание): приведение значения амплитуды сигнала к фиксированному диапазону, необходимому для устойчивой работы алгоритмов классификации на последующем этапе процесса.

Управляющим воздействием выступают математические методы фильтрации и пороговой обработки, регламентирующие логику преобразования данных и порядок формирования набора информативных признаков.

В результате выполнения процесса формируется итоговый вектор параметров, поступающий на вход функционального блока классификации и принятия решений.

Распознавание паттернов и классификация намерений оператора

Классификация намерений пользователя определяется как аналитическая задача декодирования и категоризации целевых установок, которые пользователь пытается выразить посредством моторной активности. В рамках разрабатываемой системы на базе аппаратно-программного комплекса данный этап включает многофакторный анализ биоэлектрических сигналов и программную реализацию алгоритмической логики управления исполнительными звеньями робототехнического комплекса.

В структуре анализируемых данных выделяются два типа информативных признаков:

- к первому типу относят паттерны биоэлектрических сигналов, объединяющие динамику показателей электрической активности человеческого организма. Данная категория представлена электромиографическими паттернами, которые позволяют напрямую идентифицировать амплитудно-частотные характеристики мышечных сокращений оператора для управления исполнительными звеньями робототехнической системы. К этому же типу относят электроэнцефалографические показатели биосенсоров, обеспечивающие интерпретацию ритмической активности головного мозга оператора для определения объективной оценки уровня его когнитивной нагрузки и функционального состояния в целом;
- второй тип составляют алгоритмические паттерны управления. Программная реализация в рамках используемого микропроцессорного контроллера строится на применении базовых логических конструкций, обеспечивающих преобразование классифицированных намерений и детерминированную последовательность целевых установок оператора, таких как линейные последовательности, условные ветвления и циклы, обеспечивающих преобразование классифицированных намерений в детерминированную последовательность целевых установок оператора.

Управляющие воздействия формируют правила принятия решений, определяющие создание единой

базы знаний всей системы. Реализация таких алгоритмов в программной среде графического моделирования EV3 на базе LabVIEW и процессов управления исполнительными механизмами физического объекта производится через иерархическую последовательность логических предикатов и четких итерационных структур. Тем самым совокупность таких процессов обеспечивает автономное функционирование манипулятора на протяжении всего рабочего цикла, по завершении которого формируется целевая установка, транслируемая уже после преобразования в качестве вектора управляющих сигналов.

Правила принятия решений также базируются на пороговой логике идентификации состояний. Функционирование данного алгоритма основано на сравнении амплитудного значения обработанного биоэлектрического сигнала с установленным оператором пороговым значением (уставкой срабатывания), при достижении которого система, следуя алгоритмическому обеспечению контроллера, инициирует соответствующую управляющую команду. В частности, превышение миосигналом порогового уровня инициирует выполнение команды «сжать кисть» исполнительным механизмом.

Интеграция данных и знаний (синтез управляющих воздействий)

На этапе синтеза управляющих воздействий осуществляется принятие общих решений на основании сопоставления текущего состояния системы с накопленными знаниями и опытом. В рамках этого процесса прежде всего реализуется задача интеграции, заключающаяся в сборе разнородной информации (биопотенциалов, данных о пространственной конфигурации манипулятора, внешних сигналов) в целостное представление. Данные сравниваются с заложенными в базу знаний эталонными моделями или правилами, и происходит выработка стратегии, формирующей на выходе целевую установку в виде абстрактного управляющего сигнала, который, не имея конкретных физических параметров, несет в себе цель действия [5].

Например, в среде моделирования процесс, отвечающий за синтез, функционирует как планировщик траекторий, сопоставляющий намерения оператора с кинематическими ограничениями исполнительных механизмов манипулятора. Так формируется оптимальный сценарий движения. Здесь роль основного управления выполняют протоколы (алгоритмы) биологической обратной связи, задача которых состоит в определении логики адаптации системы к динамическим изменениям физиологических параметров пользователя.

Формирование управляющих команд

На последнем этапе процесса управления биоэлектрической системой осуществляется преобразование абстрактного управляющего сигнала в физиче-

ские параметры функционирования исполнительных механизмов. Данные параметры представлены в виде последовательности командных сигналов, интерпретируемых микропроцессорным контроллером EV3 исполнительного уровня.

Стоит отметить: функционально разграничение этапов управления заключается в том, что синтез обеспечивает выработку концептуального решения (определяя целевую модальность действия), в то время как блок формирования команд управления регламентирует методологию его технической реализации.

Заключение

Таким образом, в ходе исследования разработана и научно обоснована функционально-процессная модель управления биоэлектрической системой, и сформированы информационные процессы интеграции данных и знаний на основе функционально-процессного подхода.

Системная декомпозиция предложенных этапов трансформации биоэлектрических потенциалов в управляющие команды обеспечила детерминированность алгоритмического обеспечения на всех уровнях иерархии.

Универсальность разработанного функционально-процессного подхода позволяет адаптировать модели интеграции данных для проектирования систем управления и диагностики энергетических машин. Алгоритмы обработки зашумленных сигналов и методы иерархической декомпозиции процессов перспективны для повышения помехозащищенности и быстродействия регуляторов возбуждения АО «Силовые машины» при работе в сложных переходных режимах.

Литература

1. Катыс Г.П., Мамиконов Ю.Д., Мельниченко И.К., Ильинский В.М., Карягин О.И. «Информационные роботы и манипуляторы». Москва: Энергия, 1968. 104 с.
2. Гурфинкель В.С., Малкин В.Б., Цетлин М.Л., Шнейдер А.Е. «Биоэлектрическое управление». – М.: Наука, 1972. – 242 с.
3. Могильников А.В. «Исследование и оптимизация систем управления с биологическими обратными связями на базе робототехнического комплекса LEGO MINDSTORMS EDUCATION EV3 и биосенсоров Bitronics Neurolab» // Наука настоящего и будущего: материалы всерос. науч.-практ. конф. с международ. участ. (г. Санкт-Петербург, 16-18 мая 2024 г.): в 3 т. Т. 3 / М-во образования и науки Российской Федерации, СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2024. С. 87-92.
4. Могильников А.В. Андриевская Н.В. «Исследование биоэлектрической системы управления

макетом бионической руки на основе датчиков регистрации биосигналов BiTronics» // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы всерос. науч.-техн. конф. (г. Пермь, 8–10 июня 2022 г.): в 2 т. Т. 1 / М-во образования и науки Российской Федерации, Перм. нац. исслед. политехн. ун-т. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2017. С. 355-359.

5. Senthil Vadivelan D.A “Systematic analysis of intelligent control for robotic arms using non-invasive EEG signals: a comprehensive review” / Senthil Vadivelan D., Sethuramalingam P. // International Journal of Signal and Imaging Systems Engineering. 2024. Vol. 13, no. 4. P. 218–243, – DOI 10.1504/ijssise.2024.146213.

УДК 004.82: 006.011

СТАНДАРТИЗАЦИЯ В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ОТ КАДРОВОГО КРИЗИСА К ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫМ РЕШЕНИЯМ

STANDARDIZATION IN THE ELECTRONICS INDUSTRY: FROM THE PERSONNEL CRISIS TO INSTITUTIONAL SOLUTIONS

Гальперина З.М., д. э. н., профессор, консультант по научной работе, ФГБУ «ВНИИР»,
Краснянский В.В., +7 (495) 586-17-21, +7 926-897-20-57, ckrasw@gmail.com

Galperina Z.M., Doctor of Economics, Professor, Consultant for Scientific Work, FSBI VNIIR,
Krasnyansky V.V., +7 (495) 586-17-21, +7 926-897-20-57, ckrasw@gmail.com

Аннотация: в условиях мировой технологической дезинтеграции и национального курса на обеспечение технологического суверенитета Российской Федерации система стандартизации становится критическим элементом развития радиоэлектронной промышленности. Проведенное исследование выявляет системный кадровый кризис в данной сфере. Анализ данных федерального статистического наблюдения в сфере высшего образования (2020 – 2024 гг.), анализ вакансий и резюме с платформы «Работа в России», а также результаты опроса 213 предприятий радиоэлектронной промышленности, проведенного ФГБУ «ВНИИР» в 2024 – 2025 гг., выявили устойчивую негативную динамику подготовки специалистов – сокращение числа обучающихся на 20 % за 5 лет, дефицит квалифицированных кадров (потребность испытывают 48 % предприятий) и дисбаланс на рынке труда. Зарплатные ожидания соискателей в 2025 г. на 16 – 26 % превышают предложения работодателей. В качестве ключевых мер по преодолению выявленных проблем предлагается институциональное развитие системы подготовки кадров, включающее создание в сфере стандартизации электронной и радиоэлектронной промышленности отраслевого совета по профессиональным квалификациям и формирование научно-педагогического кадрового состава через организацию диссертационных советов.

Annotation: in the context of global technological disintegration and the national policy of ensuring the technological sovereignty of the Russian Federation, the standardization system is becoming a critical element in the development of the electronic industry. The conducted research reveals a systemic personnel crisis in this area. An analysis of data from the federal statistical Office in the field of higher education (2020 – 2024), an analysis of vacancies and resumes from the Unified digital platform in the field of employment and labor relations «Work in Russia», as well as the results of a survey of 213 electronic industry enterprises conducted by FSBI VNIIR in 2024-2025 revealed a steady negative trend in the training of specialists – a reduction in the number of students by 20 Over 5 years, there has been a shortage of qualified personnel (48% of enterprises are in need) and an imbalance in the labor market. Salary expectations of applicants in 2025 are 16-26% higher than employers' offers. As key measures to overcome the identified problems, the institutional development of the personnel training system is proposed, including the creation of an industry council for professional qualifications in the field of standardization of the electronic industry and the formation of scientific and pedagogical staff through the organization of dissertation councils.

Ключевые слова: технологический суверенитет, радиоэлектронная промышленность, стандартизация, кадровый кризис, подготовка специалистов, рынок труда, дисбаланс зарплатных ожиданий, отраслевой совет по профессиональным квалификациям, диссертационные советы.

Keywords: technological sovereignty, electronic industry, standardization, personnel crisis, training of specialists, labor market, imbalance of salary expectations, industry council on professional qualifications, dissertation councils.

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

Введение

В контексте современных международных экономических и политических отношений, характеризующихся усилением деструктивных воздействий стран на научно-технический прогресс, в России реализуется комплексная трансформация национальной экономической системы.

Функциональные параметры и стратегические ориентиры данной трансформации детерминируются посредством внедрения и реализации комплекса приоритетных стратегических программ и проектов, направленных на обеспечение технологического суверенитета государства.

Под технологическим суверенитетом понимается системная способность государства автономно инициировать, развивать и внедрять передовые технологические решения и инновации с минимизацией критической зависимости от трансграничных технологических потоков и зарубежных поставщиков ключевых компонентов.

Процесс целенаправленной изоляции России от результатов научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности ведущих индустриальных стран – производителей не только высокотехнологичных конечных продуктов, но и элементов технологических цепочек их производства – приводит к де-факто ограничению доступа национальных отраслей к наиболее актуальным и эффективным технологическим достижениям мирового уровня.

В условиях данной технологической дезинтеграции становится критически необходимым для России осуществление масштабных мероприятий по импортозамещению, сопряженных с интенсификацией инновационного развития промышленного комплекса.

Инновационно ориентированное импортозамещение оказывает фундаментальное воздействие на структурно-технологическую организацию хозяйственных систем, обеспечивает формирование новых технологических укладов и предполагает трансформацию приоритетов отраслевого развития. На доминирующие позиции в экономике выходят высокотехнологичные секторы с высоким потенциалом производственной емкости. Данные секторы выступают в качестве сквозных технологических платформ, обеспечивающих системную устойчивость и конкурентоспособность национальной экономики. Ключевой сферой в этом контексте является электронная и радиоэлектронная промышленность.

Продукция электронной и радиоэлектронной промышленности формирует базис для развития информационно-телекоммуникационных технологий – критически важных компонентов современной мировой высокотехнологичной экономической системы [1]. Удельный вес технологий радиоэлектроники в себестоимости продукции различных отраслей промышленности представлен значительными величинами: в автомобилестроении достигающий до



Гальперина З.М. Крянжянский В.В.

20 %, в области научного приборостроения – порядка 40 %, а в авиационной промышленности – более 55 %. В экономически развитых странах доля радиоэлектроники в стоимости высокотехнологичных бытовых, промышленных и оборонных систем достигает от 50 % до 80 %.

В современных конкурентных условиях электронная и радиоэлектронная промышленность вынуждена решать задачи не только технологического догоняющего развития и противодействия иностранной экспансии на внутреннем рынке, но и формировать собственные инновационные технологические компетенции, а также создавать продукты и сервисы новой генерации, способные стать мировыми стандартами. Успешность предприятий рассматривается в аспекте соответствия выпускаемой продукции требовательным ожиданиям конечных потребителей и превосходства по ключевым функционально-стоимостным характеристикам.

Формулировка известного американского промышленного деятеля – Генри Форда, обладателя 161 патента, гласит: «Лишь тот субъект хозяйственной деятельности, способный обеспечить потребителю превосходное качество при минимальной стоимости, гарантированно занимает лидирующее место в индустрии вне зависимости от ассортимента производимой продукции, что является незыблемым законом индустриального развития».

Принципиальная реализация данного положения осуществляется посредством системной организации и развития процессов стандартизации – фундаментального механизма управления качественными и техническими параметрами продукции и услуг на всех фазах их жизненного цикла, включая проектирование, производство, контролирование качества, испытания и эксплуатацию. Стандартизация выступает важнейшим фактором обеспечения эффективности кооперации между производителем, заказчиком и сбытовыми структурами, а также способствует интеграции управленческих процессов на различных уровнях административного и экономического управления.

Несмотря на наличие методологической базы, лимитирующими факторами при внедрении и применении системы стандартизации на промышленных предприятиях являются объективные организаци-

онно-технические и материально-технические ограничения, недостаточная распространённость статистико-аналитических методов в массовой практике, отставание процессов автоматизации технологического и управленческого характера, а также существующие социально-психологические барьеры и, что особенно актуально, обеспеченность предприятий отрасли достаточным количеством высококвалифицированных кадров.

В дальнейшем анализ будет сосредоточен на исследовании вопросов об обучении специалистов по стандартизации и спросе на рынке труда.

Основная часть

Характеристика квалификации, необходимой для осуществления деятельности по стандартизации (за исключением федеральных образовательных стан-

дартов и профессиональных стандартов), включая разработку, опубликование и применение документов по стандартизации, в отношении процессов, продукции, работ, услуг, систем менеджмента, терминологии, условных обозначений, исследований, испытаний измерений, методов испытаний, маркировки, процедуры оценки соответствия, направленная на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции и повышение конкурентоспособности продукции, работ или услуг, определена в профессиональном стандарте «Специалист по стандартизации», утвержденном приказом Минтруда России от 27 апреля 2023 г. № 346н [2].

В соответствии с профстандартом требования к образованию и обучению специалистов по стандартизации варьируются в зависимости от трудовых функций и представлены в таблице 1.

Таблица 1

Функциональная карта профессиональной деятельности по стандартизации и требования к образованию и обучению

Код	Наименование обобщенной трудовой функции	Наименование трудовой функции	Требования к образованию и обучению
А	Вспомогательная деятельность по стандартизации в организации	Комплектование фонда документов по стандартизации и обеспечение подразделений организации документами по стандартизации	Среднее профессиональное образование – программы подготовки специалистов среднего звена или Среднее профессиональное образование (непрофильное) – программы подготовки специалистов среднего звена и дополнительное профессиональное образование – программы профессиональной переподготовки в области стандартизации
		Учет и хранение документов по стандартизации	
		Сбор и обработка информации в целях проведения работ по стандартизации в организации	
В	Проведение работ по стандартизации в организации	Проведение работ по стандартизации	Высшее образование – бакалавриат или Высшее образование (непрофильное) – бакалавриат и дополнительное профессиональное образование – программы профессиональной переподготовки в области стандартизации
		Сопровождение работ по разработке, актуализации, отмене и внедрению документов по стандартизации в организации	
С	Обеспечение и оценка соответствия технической документации организации требованиям документов по стандартизации	Нормализационный контроль (далее - нормоконтроль) конструкторской документации изделия и технологической документации	
		Нормоконтроль проектной и технической документации	
		Осуществление работ по унификации изделий, их составных частей и информационного обеспечения жизненного цикла изделия	

D	Сопровождение деятельности по национальной, межгосударственной, международной стандартизации	Разработка национальных, межгосударственных, международных стандартов и других документов по стандартизации	Высшее образование – специалитет, магистратура или Высшее образование (непрофильное) – специалитет, магистратура и дополнительное профессиональное образование – программы профессиональной переподготовки в области стандартизации
		Проведение работ по актуализации и отмене национальных, межгосударственных, международных стандартов, документов по стандартизации	
E	Организация деятельности по стандартизации	Планирование работ по стандартизации в организации	
		Организация внедрения документов по стандартизации и контроль выполнения требований документов по стандартизации	
		Организация деятельности и управление деятельностью подразделения, выполняющего работы по стандартизации	
F	Организация и обеспечение деятельности технического комитета по стандартизации	Обеспечение деятельности секретариата технического комитета по стандартизации	
		Организация проведения экспертизы проектов документов национальной, межгосударственной, международной стандартизации	
		Управление деятельностью технического комитета по стандартизации	

Таким образом ключевые компетенции в сфере стандартизации достигаются либо посредством обучения по профильным программам высшего образования, либо посредством профессиональной переподготовки в области стандартизации в рамках профильных программ дополнительного профессионального образования.

В части анализа системы высшего образования выявлено, что профстандарт «Специалист по стандартизации» напрямую не упомянут в Федеральных государственных образовательных стандартах (ФГОС). Тем не менее, согласно действующим правилам, образовательная организация самостоятельно выбирает профессиональные стандарты, соответствующие профессиональной деятельности выпускников, на основании актуального реестра профстандартов и может учитывать профстандарт «Специалист по стандартизации» при разработке и реализации образовательных

программ, связанных со стандартизацией и метрологией.

Таким образом обеспечение системы стандартизации специалистами с профильным высшим образованием реализуется посредством подготовки таких специалистов в рамках программ высшего образования (бакалавриата и магистратуры), соответствующих кодам направления (специальности) 27.03.01 и 27.4.01 «Стандартизация и метрология» (далее – направления подготовки специалистов по стандартизации).

Результаты анализа показателей, рассчитанных на основании предоставленных образовательными учреждениями в Минобрнауки России статистических данных по форме федерального статистического наблюдения [3], представлены далее.

Динамика числа поданных заявлений на обучение по направлениям подготовки специалистов по стандартизации с 2020 по 2024 гг. представлена на рис. 1.

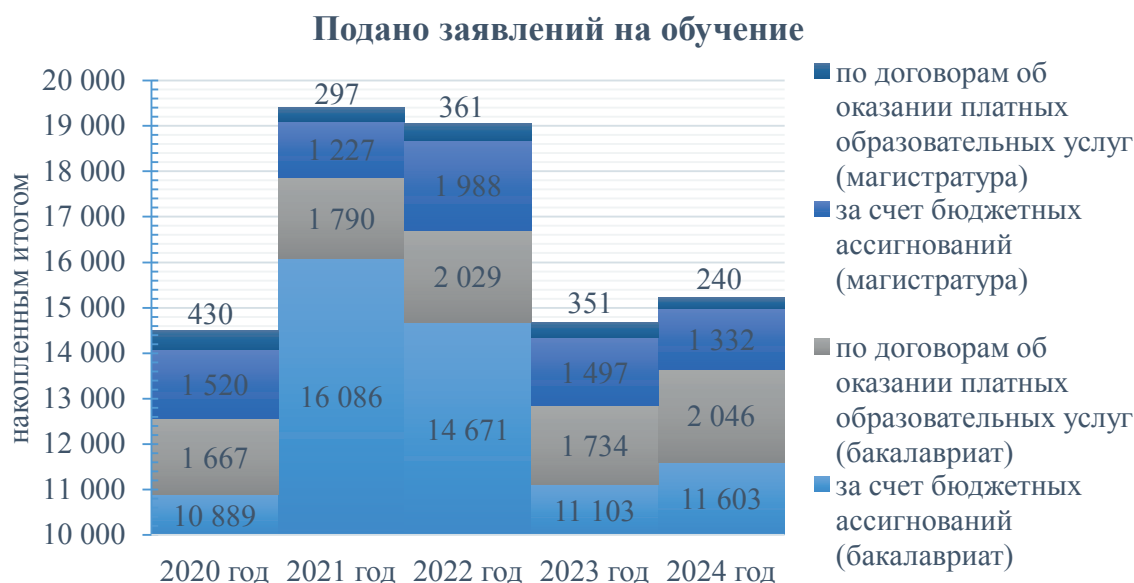


Рис. 1. Динамика числа поданных заявлений на обучение по направлениям подготовки специалистов по стандартизации с 2020 по 2024 гг.

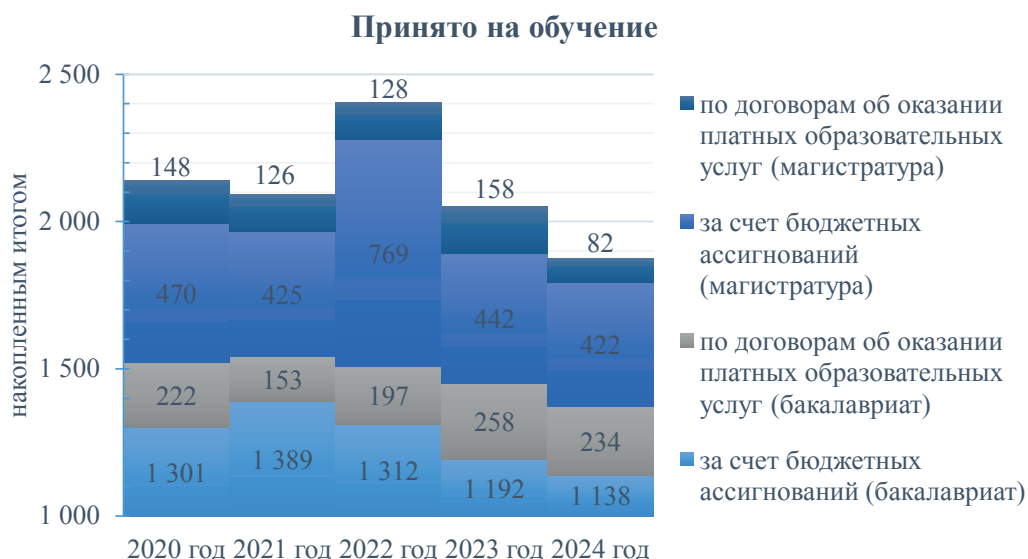


Рис.2. Динамика числа принятых на обучение по направлениям подготовки специалистов по стандартизации с 2020 по 2024 гг.

Динамика подачи заявлений на подготовку специалистов по стандартизации в период с 2020 по 2024 годы характеризуется волнообразными изменениями: после значительного роста в 2021 году наблюдалось резкое снижение в 2023 году, за которым последовало небольшое восстановление в 2024 году. Основной поток заявлений приходится на бакалавриат – от 87 % до 92 % от общего числа, причем большая часть абитуриентов предпочитает бюджетные места (от 85 % до 90 % для бакалавриата и от 80 % до 85 % для магистратуры). При этом доля заявлений на платные программы бакалавриата выросла до 15 % к 2024 году, тогда как в магистратуре наблюдается тенденция к снижению платного сегмента. Сокращение числа заявлений в 2023 году, вероятно, связано с демографическими изменениями и изменениями в образовательной политике, а рост бакалавриата в 2024 году говорит о начале стабилизации спроса.

Динамика числа принятых на обучение по направлениям подготовки специалистов по стандартизации с 2020 по 2024 гг. представлена на рис. 2.

За период с 2020 по 2024 годы число принятых на обучение специалистов по стандартизации демонстрирует колебательную динамику. Общее количество поступивших достигло максимума в 2022 году (2 406 человек), однако в последующие годы наблюдается снижение: до 2 050 человек в 2023 году и до 1 876 в 2024 году. В программах бакалавриата количество поступающих постепенно уменьшается – с 1 523 в 2020 году до 1 372 в 2024 году, при этом доля студентов на бюджетных местах снижается с 1 301 до 1 138 человек, а количество платных студентов колеблется, достигнув пика в 2023 году (258 человек) и сократившись до 234 в 2024 году. В магистратуре также видны существенные изменения: максимум количества принятых зафиксирован

в 2022 году (897 человек), в том числе значительный рост бюджетников (769 человек), однако в последующие годы наблюдается заметное сокращение и бюджетных, и платных мест – в 2024 году количество поступивших на магистратуру снижено до 504 человек, из них 422 – бюджетники. Таким образом данные свидетельствуют о тенденции к сокращению набора будущих специалистов по стандартизации, особенно на бюджетные места.

Динамика числа обучающихся по направлениям подготовки специалистов по стандартизации с 2020 по 2024 гг. представлена на рис. 3.

С 2020 по 2024 годы наблюдается тенденция к постепенному сокращению числа обучающихся по направлениям подготовки специалистов по стандартизации. Общее количество студентов снизилось с 7 502 в 2020 году до 6 025 в 2024 году. В бакалавриате количество обучающихся уменьшилось с 6 013 до 4 843 человек, при этом численность студентов, обучающихся на бюджетной основе, сократилась с 5 031 до 4 155, а количество обучающихся на платных местах снизилось с 982 до 688 человек. В магистратуре также зафиксированы колебания, но с тенденцией к сокращению: общее число обучающихся снизилось с 1 489 до 1 182 человек, при этом численность бюджетных студентов уменьшилась с 1 116 до 958, а количество платных обучающихся сократилось с 373 до 224. Эти данные отражают устойчивое снижение контингента обучающихся как на бюджетных, так и на платных местах.

Динамика числа выпускников направлений подготовки специалистов по стандартизации с 2020 по 2024 гг. представлена на рис. 4.

За период с 2020 по 2024 годы наблюдается нестабильная динамика числа выпускников направлений подготовки специалистов по стандартизации. Общий объём выпускников снизился с 2 015 человек в 2020 году до 1 560 в 2024 году, при этом число бакалавров сократилось с 1 371 до 954 выпускников. Среди бакалавров значительная часть не продолжает обучение и выпустилась в количестве 621 человека в 2024 году, тогда как продолживших обучение по программам магистратуры осталось 333, что также демонстрирует некоторую тенденцию к сокращению продолжения образования. Выпуск магистрантов характеризуется значительными колебаниями: после снижения с 644 в 2020 году до 399 в 2023 году в 2024 году зафиксирован рост до 606 выпускников. Эти данные говорят о том, что, несмотря на уменьшение числа выпускников бакалавриата, интерес к программам магистратуры сохраняется и даже растёт. В целом, тенденция свидетельствует о сокращении выпуска специалистов по стандартизации на уровне бакалавриата и неустойчивости на магистерском уровне.

В период с 2020 по 2024 годы наблюдалась волнообразная динамика подготовки специалистов по стандартизации с пиком подачи заявлений и числа принятых в 2021 – 2022 годах и последующим снижением,

особенно на бакалавриате и бюджетных местах. Число обучающихся и выпускников бакалавриата постепенно сокращается, тогда как выпускники магистратуры демонстрируют большую нестабильность с ростом к 2024 году, что отражает сохраняющийся интерес к углублённому образованию. Эти тенденции свидетельствуют о необходимости адаптации образовательных программ и политики приёма с учётом изменений демографии, рынка труда и профессиональных требований.

По результатам обучения по специальности бакалавриата «Стандартизация и метрология» можно освоить одну или несколько из 27 профессий в зависимости от области специализации образовательного учреждения, например, в области электроники, связи и радиотехники [4].

Также можно выделить 12 профессий, для которых базовым уровнем образования является магистратура по специальности «Стандартизация и метрология» [5].

Из представленного числа профессий, непосредственно относящихся к системе стандартизации являются: инженер по стандартизации, инженер по стандартизации и сертификации, специалист по стандартизации и сертификации продукции.

В целях оценки рынка труда в части зарплатных ожиданий соискателей собраны данные о размещённых на Единой цифровой платформе в сфере занятости и трудовых отношений «Работа в России» (далее – ЕЦП «Работа в России») резюме специалистов по стандартизации за период с 2020 года по первое полугодие 2025 года [6], что представлено в таблице 2.

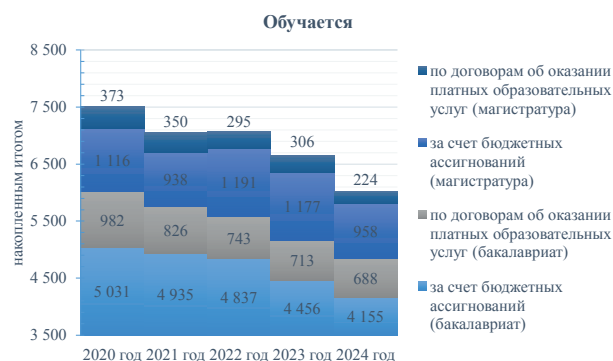


Рис.3. Динамика числа обучающихся по направлениям подготовки специалистов по стандартизации с 2020 по 2024 гг.

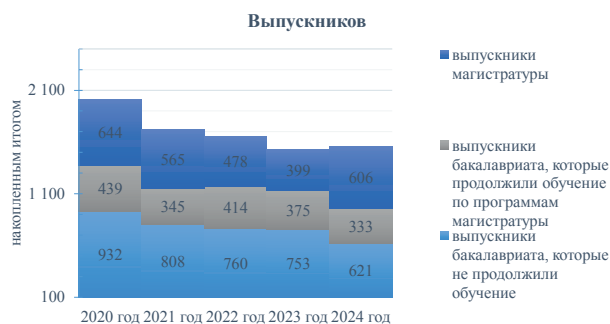


Рис.4. Динамика числа выпускников направлений подготовки специалистов по стандартизации с 2020 по 2024 гг.

Таблица 2

Данные из резюме специалистов по стандартизации

Год	2020	2021	2022	2023	2024	2025*
Число резюме за год, шт	91	67	104	78	87	109
Средняя указанная в резюме з/п, руб.	34 315	33 791	43 279	49 494	57 193	76 419
Медианная указанная в резюме з/п, руб.	30 000	30 000	40 000	45 000	50 000	60 000
Максимальная указанная в резюме з/п, руб.	90 000	70 000	110 000	150 000	130 000	200 000
Минимальная указанная в резюме з/п, руб.	12 130	15 000	15 000	20 000	20 000	15 000

* – 1-е полугодие

Средняя и медианная заработные платы, указанные соискателями в резюме, за период с 2020 г. по 1-е полугодие 2025 г. значительно выросли: средняя зарплата увеличилась с примерно 34 000 рублей в 2020 году до более 76 000 рублей в 2025 году, а медианная – с 30 000 до 60 000 рублей, что свидетельствует о повышении уровня ожиданий соискателей по оплате труда в профессии. Максимальная указанная в резюме зарплата также заметно возросла, достигнув в 2025 году 200 000 рублей, при этом минимальная запрашиваемая оплата оста-

валась относительно стабильной в диапазоне 15–20 тысяч рублей, указывая на сохранение значительно-го разброса в ожиданиях соискателей, что вероятно связано с наличием или отсутствием у них опыта и квалификации.

В целях оценки рынка труда в части зарплатных предложений работодателя собраны данные по 112 вакансиям на должности, относящиеся к специалистам по стандартизации, размещенные на ЕЦП «Работа в России» в период июнь – июль 2025 г [7], что представлено в таблице 3.

Таблица 3

Данные по 112 вакансиям на должности, относящиеся к специалистам по стандартизации

Число вакансий, шт	112	
Зарботная плата	Нижняя планка	Верхняя планка
Средняя указанная в вакансии з/п, руб.	56 704	64 145
Медианная указанная в вакансии з/п, руб.	52 371	60 000
Максимальная указанная в вакансии з/п, руб.	157 672	170 000
Минимальная указанная в вакансии з/п, руб.	22 440	25 806

По данным о 112 вакансиях специалистов по стандартизации, средняя заработная плата варьируется в пределах от примерно 56 700 до 64 100 рублей, а медианная – от 52 300 до 60 000 рублей, что говорит о достаточно сбалансированном предложении по уровню оплаты труда в целом. Максимальная предлагаемая зарплата достигает от 157 700 до 170 000 рублей, в то время как минимальная – от 22 400 до 25 800 рублей, демонстрируя широкий разброс по уровню заработка в зависимости от позиции, опыта и региона.

Таким образом рынок труда демонстрирует отклонение зарплатных ожиданий соискателей от предложений работодателей по уровню средней заработной платы. Так в 2025 году средняя указанная в резюме заработная плата выше на 16 % по верхней планке и на 26 % по нижней планке среднего размера оплаты труда в предложениях работодателей.

Однако стоит отметить, что средний размер зарплатных ожиданий соискателей в 2024 году ниже среднемесячной номинальной начисленной заработной платы (с учетом вычета налогов) в России в 2024 году на 25 %, что может указывать на преобладание начинающих специалистов в сфере стандартизации,

либо на низкий престиж профессии – отток квалифицированных и опытных кадров в более доходные сферы, и как одно из наблюдаемых следствий, заметное уменьшение числа молодежи, которая реже выбирает обучение по направлению «Стандартизация и метрология».

С другой стороны, в связи с тем, что средняя указанная в вакансии заработная плата ниже средней указанной в резюме и в экономике России в целом, то это может отражать отношение работодателей к специалистам по стандартизации как к «вспомогательному персоналу», а не как к ключевым сотрудникам, влияющим на качество продукции и на систему повышения эффективности и производительности в организации.

С целью изучения обеспеченности электронной и радиоэлектронной промышленности специалистами по стандартизации в 2024 году и 2025 году ФГБУ «ВНИИР» провело опрос 213 предприятий электронной и радиоэлектронной промышленности. Результаты опроса показали, что в 70 % предприятий отрасли разрабатываются документы по стандартизации, однако 22 % ответили, что нет (рис. 5).

Вопрос 1: Разрабатываются ли документы по стандартизации в вашей организации?

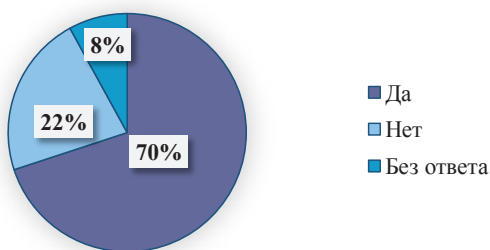


Рис.5. Результаты опроса предприятий (вопрос 1)

Одной из причин такого распределения ответов может являться неравномерность развития стандартизации в отрасли, в регионах. Там, где документация по стандартизации не разрабатывается, могут возникнуть риски: несоблюдение технических регламентов, проблемы с качеством продукции, барьеры для экспорта, что в целом может негативно отражаться как на внутреннем рынке, так и на показателях развития экономики в целом в части внешней торговли.

Спрос на специалистов по стандартизации сохраняется, однако он носит неоднородный характер: около половины организаций (48 %) испытывают потребность в таких кадрах, вместе с тем 32 % опрошенных не видят необходимости в привлечении данных специалистов, что может отражать отсутствие процессов стандартизации в их деятельности, недостаточное понимание значения этих ролей, а также использование аутсорсинга для выполнения соответствующих функций (рис. 6).

Вопрос 2: Есть ли у вашей организации потребность в специалистах по стандартизации?

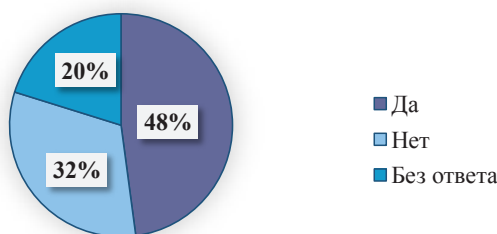


Рис.6. Результаты опроса предприятий (вопрос 2)

Кроме того, отсутствие ответа у 20 % респондентов указывает на проблему осознания и понимания роли специалистов по стандартизации, что может свидетельствовать об отсутствии стратегического планирования и недостатке информации в этой сфере.

Анализ ответов организаций на третий вопрос показывает, что большинство из них (57 %) осознают необходимость повышения квалификации специалистов, что может отражать их реакцию на развитие системы стандартизации, а также на недостаточный уровень подготовки текущих кадров и возрастание значимости профессии в условиях импортозамещения. Вместе с тем почти четверть респондентов

(23 %) не видят необходимости в дополнительном обучении, что может свидетельствовать как о достаточном уровне подготовки, так и о недооценке важности постоянного развития или ограничениях бюджета на обучение (рис. 7).

Вопрос 3: Есть ли необходимость в обучении (повышении квалификации) специалистов по стандартизации в электронной и радиоэлектронной промышленности для вашей организации?

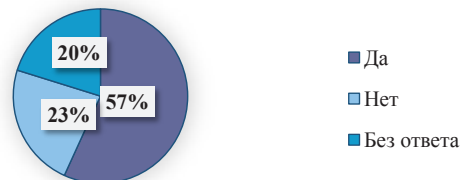


Рис.7. Результаты опроса предприятий (вопрос 3)

Стоит отметить, что значительная доля организаций (20 %) не определилась с позицией, что указывает на отсутствие системной работы с кадровым развитием и недостаток информации о современных требованиях, одновременно открывая потенциал для повышения спроса на обучение и развитие профессиональных навыков в этой сфере.

Из представленных данных можно сделать прогноз об усилении кадрового кризиса:

- текущий спрос на специалистов по стандартизации (102 организации) и их обучение (121 запрос) превышает предложение, что повлечет повышение зарплат в отрасли на 20 – 25 %, но дефицит сохранится;
- организации из «зоны неопределенности» (от 20 % до 43 % не определившихся) будут вынуждены выбирать: либо вкладываться в стандартизацию, либо уходить в низкорегулируемые ниши, сокращать товарную линейку.

Заключение

Подводя итоги считаем целесообразным для совершенствования системы стандартизации и формирования кадрового ресурса в этой сфере для предприятий электронной и радиоэлектронной промышленности необходимо создать отраслевой совет по профессиональным квалификациям в сфере стандартизации электронной и радиоэлектронной промышленности, рекомендовать Минпромторгу России рассмотреть вопрос о разработке положений по мерам поддержки предприятий электронной и радиоэлектронной промышленности в части развития системы стандартизации для их включения в отраслевую программу повышения производительности труда, а также провести межотраслевое обсуждение возможности и необходимости открытия диссертационных советов в вузах по специальностям в области стандартизации электронной и радиоэлектронной промышленности в целях долгосрочного обеспечения отрасли научно-преподавательским составом в этой сфере.

Литература

1. Подъяпольский С.Б., Булгаков О.Ю., Осипова Е.М. «О некоторых аспектах распространения электронной продукции в радиоэлектронной отрасли». Журнал «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения». 2022, № 3 (7), с. 4-7.
2. Приказ Минтруда России от 27 апреля 2023 г. № 346н «Об утверждении профессионального стандарта «Специалист по стандартизации» – Текст: электронный // Официальный интернет-портал Минтруда России : официальный сайт. – М., 2025. – URL: <https://mintrud.gov.ru/docs/mintrud/orders/2673> (дата обращения: 25.07.2025).
3. Приказ Минтруда России от 17.09.2025 г. № 507 «Форма № ВПО-1 «Сведения об организации, осуществляющей образовательную деятельность по образовательным программам высшего образования — программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры». – Текст : электронный // Официальный интернет-портал Минобрнауки России : официальный сайт. – М., 2025. – URL: <https://minobrnauki.gov.ru/action/stat/highed/> (дата обращения: 25.07.2025).
4. Поступи онлайн: 27 профессий, которые можно получить, обучаясь на специальности бакалавриата «Стандартизация и метрология» : официальный сайт. – М., 2025. – URL: <https://postupi.online/specialnost/27.03.01/professii/> (дата обращения: 25.07.2025).
5. Поступи онлайн: 12 профессий, которые можно получить, обучаясь в магистратуре «Стандартизация и метрология» : официальный сайт. – М., 2025. – <https://postupi.online/specialnost-magistr/27.04.01/professii/> (дата обращения: 25.07.2025).
6. Единая цифровая платформа в сфере занятости и трудовых отношений «Работа в России» – Резюме на должность «стандартизац» в регионе «Вся Россия» // официальный сайт. – М., 2025. – URL: https://trudvsem.ru/cv/search?_title=стандартизац&_regionIds=&page=0&titleType=CV_NAME&cvType=LONG (дата обращения: 25.07.2025).
7. Единая цифровая платформа в сфере занятости и трудовых отношений «Работа в России» : официальный сайт. – Вакансии на должность «стандартизац» в регионе «Вся Россия». – М., 2025. – URL: https://trudvsem.ru/vacancy/search?_title=стандартизац&_regionIds=&page=0&vacancyType=LONG (дата обращения: 25.07.2025).

УДК 658.514:004.9:338.45

**ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В КОНТЕКСТЕ ГОСЗАКАЗА**

**ASSESSMENT OF ECONOMIC POTENTIAL OF DIGITAL TRANSFORMATION
OF ENTERPRISES IN THE ELECTRONICS INDUSTRY IN THE CONTEXT OF GOVERNMENT PROCUREMENT**

Свинаренко В.А., аспирант кафедры Управления информационно-технологическими системами,
МГСУ «СТАНКИН», +7 (925) 008-21-92, svi-svi@mail.ru

Svinarenko V.A., Postgraduate Student of the Department of Information
and Technological Systems Management, MGSU "STANKIN", +7 (925) 008-21-92, svi-svi@mail.ru

Аннотация: в статье рассматриваются проблемы и перспективы цифровой трансформации предприятий радиоэлектронной промышленности Российской Федерации. Особое внимание уделяется специфике выполнения государственного оборонного заказа и гражданских госзаказов в условиях импортозамещения. Проведен анализ существующих барьеров интеграции информационных систем. На основе выявленных проблем разработана математическая модель оптимизации организационно-технологических процессов. Модель учитывает минимизацию риска невозможности импортозамещения и оптимизацию времени согласования технических решений. Апробация модели на примере типовой опытно-конструкторской работы показала высокую экономическую эффективность. Расчеты демонстрируют сокращение транзакционных издержек на 43,2 млн. руб. и предотвращение рисков брака и штрафов на сумму более 31 млн. руб. Комплексное устранение организационно-информационных противоречий обеспечивает рост общей экономической эффективности проекта до 15 %.

Annotation: this article examines the challenges and prospects for digital transformation of enterprises in the Russian electronics industry. Particular attention is paid to the specifics of fulfilling state defense and civilian government contracts in the context of import substitution. An analysis of existing barriers to information system integration is conducted. Based on the identified challenges, a mathematical model for optimizing organizational and technological processes has been developed. The model minimizes the risk of import substitution failure and op-

timizes the time it takes to approve technical solutions. Testing the model on a typical R&D project demonstrated high economic efficiency. Calculations demonstrate a reduction in transaction costs of 43.2 million rubles and the prevention of defect risks and fines totaling over 31 million rubles. Comprehensive elimination of organizational and information inconsistencies ensures an increase in the overall economic efficiency of the project of up to 15 %.

Ключевые слова: цифровая трансформация, радиоэлектронная промышленность, госзаказ, импортозамещение, информационное взаимодействие, математически формализованная модель, цифровая платформа, модель, эффективность.

Keywords: digital transformation, radio-electronic industry, state order, import substitution, information interaction, mathematically formalized model, digital platform, model, efficiency.

Научная специальность: 2.3.8. Информатика и информационные процессы.

Введение

В современных геополитических и экономических условиях радиоэлектронная промышленность (далее – РЭП) становится основой технологического суверенитета страны. Стратегия развития отрасли неразрывно связана с необходимостью форсированной цифровой трансформации производственных и управленческих процессов. Согласно «Стратегии цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности...» [1], достижение «цифровой зрелости» является приоритетной задачей до 2030 года.

Однако специфика отрасли, характеризующаяся высокой долей государственного заказа (как оборонного, так и гражданского), накладывает особые требования к организационно-технологическим аспектам изменений. Государственный заказ выступает не только драйвером спроса, но и жестким регулятором, требующим прозрачности ценообразования, соблюдения сроков и соответствия строгим стандартам качества. В этой связи актуализируется проблематика создания единого информационного пространства и перестройки архитектуры предприятий.

Как отмечают А. Большаков [2] и А. Фомина [3], существующие барьеры — от нормативных до инфраструктурных — тормозят переход к индустрии 4.0. Целью данной работы является разработка и апробация модели организационно-технологической трансформации предприятий РЭП, чтобы повысить эффективность исполнения госзаказа за счет интеграции информационных систем и совершенствования процедур импортозамещения.

Основная часть

Цифровая трансформация в РЭП — это не просто внедрение локальных программных продуктов, а изменение бизнес-моделей и производственных цепочек. По мнению И.С. Иванова и В.А. Трусова, система информационной поддержки процессов импортозамещения нацелена на обеспечение интеграции возможностей субъектов РЭП в разработке и производстве импортозамещающей продукции с потребностями субъектов экономики в электронной и радиоэлектронной продукции [4]. Данное утверждение подчеркивает необходимость созда-



Свинаренко В.А.

ния сквозных цифровых каналов между заказчиком (государством) и исполнителем, чтобы оперативно сопоставлять технические задания с реестрами отечественной базы.

В интересах своевременного и эффективного информационного взаимодействия представителей субъектов процесса экспертной оценки проектов разработана цифровая платформа сбора, первичного рассмотрения и экспертной оценки инициативных предложений по развитию электронной и радиоэлектронной промышленности (И.С. Иванов, С.В. Кузнецов, В.А. Трусов) [5]. Внедрение подобных платформ поможет минимизировать коррупционные риски и повысить качество отбора проектов для госфинансирования.

Однако практика показывает наличие системных сбоев. Существующая система управления развитием РЭП показывает, что в силу недостаточного соответствия (информационного взаимодействия) организационной и информационной структур субъектов РЭП возникают противоречия. И.С. Иванов отмечает конфликт между возрастающими требованиями к системе управления развитием системы стандартизации и метрологического обеспечения (оказывающим влияние на разработку и производство продукции) и несоответствующим состоянием обеспечивающих эти процессы подсистем: технологий, материалов, метрологии, стандартизации, контроля качества и других, а также нормативно-правовой и нормативно-технической базы в РЭП [6].

Д.В. Гожун и Н.С. Хорошавина подтверждают, что интеграционные риски информационных систем являются критическими для отрасли [7].

Схема взаимодействия (иерархия автоматизации) выглядит следующим образом: PDM → ERP → MES.

PDM создает «цифровой паспорт» изделия (что производить?).

ERP на основе данных из PDM формирует производственный план, закупает материалы, рассчитывает себестоимость (во что обойдется?).

MES получает план от ERP и технические данные от PDM, чтобы выполнить его на конкретном оборудовании (как и на чём производить?).

ERP — для финансовых директоров и топ-менеджеров (управление бизнесом). MES — для начальников цехов, мастеров, технологов (управление операциями). PDM — для главных конструкторов, инженеров, проектировщиков (управление знаниями). Вместе они формируют цифровой контур предприятия, обеспечивая сквозной поток данных от идеи и чертежа до готового изделия и финансового результата.

Разрозненность ERP, MES и PDM-систем на предприятиях приводит к дублированию данных и ошибкам при формировании отчетности по госконтрактам.

На основе анализа профильной литературы [1, 3, 8, 9] и текущей практики исполнения государственных заказов в радиоэлектронной промышленности, выявлен ряд проблем, затрудняющих цифровую трансформацию отрасли:

Низкая интероперабельность локальных информационных систем, проявляющаяся в отсутствии унифицированных протоколов обмена данными

между предприятиями, участвующими в кооперационных цепочках.

Негибкость регуляторной среды, усугубляется медленной адаптацией существующих государственных стандартов (ГОСТ) к новым цифровым реалиям и концепции Model-Based Enterprise, что препятствует полноценному внедрению цифровых двойников и сквозного проектирования.

Кадровый дефицит, связан с нехваткой высококвалифицированных специалистов, обладающих компетенциями одновременно на стыке информационных технологий и специфики радиоэлектроники.

Сложность подтверждения происхождения продукции возникает за счет трудоемкости процессов доказательства российского происхождения продукции (в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 17 июля 2025 г. № 719) в цифровом виде.

Для структурирования подхода к решению указанных проблем, составлена таблица организационно-технологических аспектов цифровой трансформации радиоэлектронной промышленности в рамках госзаказа.

Анализ организационно-технологических аспектов цифровой трансформации предприятий радиоэлектронной промышленности в контексте государственного заказа показал четыре взаимосвязанные группы проблем.

Таблица 1

Проблемы цифровой трансформации предприятий радиоэлектронной промышленности в контексте госзаказа

Группа аспектов	Аспекты	Влияние на исполнение госзаказа	Решения
Организационно-управленческие	Инерция мышления руководства, сопротивление изменениям, бюрократизация процедур согласования [7].	Повышение прозрачности этапов выполнения НИОКР и опытно-конструкторской работы (ОКР). Соблюдение директивных сроков.	Реинжиниринг бизнес-процессов на основе данных. Переход к проектному управлению.
Технологические (Инфраструктурные)	Устаревший парк оборудования, несовместимость legacy-систем (устаревшие программные системы, приложения или код, которые продолжают использоваться) с новыми платформами [3].	Снижение себестоимости продукции, повышение процента выхода годных изделий.	Внедрение сквозных технологий (IIoT, Big Data, цифровые двойники). Создание единых баз данных (Data Lakes («озеро данных»)).
Информационно-методические	Разрыв между требованиями заказчика и возможностями метрологического обеспечения [4].	Гарантия совместимости компонентов, ускорение процедур сертификации и приемки.	Цифровизация систем стандартизации и метрологии. Единые классификаторы ЭКБ.
Нормативно-правовые	Сложности гармонизации законодательства (№ 44-ФЗ от 05.04.2013, № 223-ФЗ от 18.07.2011, № 275-ФЗ от 29.12.2012) с процессами цифровизации [8].	Легитимность цифровых подписей, ускорение оплаты по контрактам.	Юридически значимый электронный документооборот (ЮЗЭДО) в контуре гостайны и для служебного пользования (ДСП).

В первую очередь, организационно-управленческий аспект требует проведения реинжиниринга бизнес-процессов на основе данных и перехода к проектному управлению. Однако внедрение этих изменений наталкивается на серьезное сопротивление, выражающееся в инерции мышления руководства, сопротивлении сотрудников изменениям и излишней бюрократизации процедур согласования [10]. Необходимы меры для повышения прозрачности всех этапов выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), а также для строгого соблюдения директивных сроков, установленных госзаказом.

Далее следует технологический (инфраструктурный) аспект, целью которого является внедрение сквозных технологий, таких как Промышленный Интернет вещей (IIoT), анализ больших данных (Big Data) и создание цифровых двойников. Тем не менее, реализация технологической модернизации осложняется устаревшим парком производственного оборудования и несовместимостью унаследованных программных систем (legacy-систем) с современными цифровыми платформами [10]. Важным шагом является создание централизованных хранилищ, или «озер данных» (Data Lakes), способных сохранять структурированные и неструктурированные данные в исходном виде. Успешное внедрение этих решений приводит к снижению себестоимости готовой продукции и значительному повышению процента выхода годных изделий.

Третий аспект, информационно-методический, сосредоточен на цифровизации систем стандартизации и метрологии, а также создание единых классификаторов электронной компонентной базы (далее – ЭКБ). Основная проблема здесь заключается в существенном разрыве между возрастающими требованиями государственного заказчика и фактическими возможностями существующего метро-

логического обеспечения [4]. То есть государственный заказчик не обладает эффективными процедурами трансляции своих потребностей и критериев, с использованием систем стандартизации и метрологического обеспечения, в четкие, исполнимые требования для подрядчиков. Указанные меры гарантируют совместимость всех используемых компонентов и существенно ускоряют обязательные процедуры сертификации и приемки продукции.

Наконец, нормативно-правовой аспект требует внедрения юридически значимого электронного документооборота (ЮЗЭДО), особенно в контуре государственной тайны и для служебного пользования (ДСП). Главным барьером остается сложность гармонизации отраслевого законодательства (№ 44-ФЗ от 05.04.2013, № 223-ФЗ от 18.07.2011, № 275-ФЗ от 29.12.2012) с непрерывно развивающимися процессами цифровизации [8]. Успех в этой области обеспечивает легитимность цифровых подписей и значительно ускоряет получение оплаты по государственным контрактам.

Таким образом, комплексная трансформация требует одновременного устранения организационных барьеров, инфраструктурной модернизации, совершенствования методического обеспечения и адаптации нормативно-правовой среды.

На основании выявленных проблем и необходимости устранения противоречий, описанных И.С. Ивановым [4], предлагается концептуальная модель улучшения процесса трансформации (рис. 1), которая основана на интеграции подсистем стандартизации, метрологии и управления производством в единый цифровой контур.

Модель цифровой трансформации предприятий радиоэлектронной промышленности в контексте госзаказа (рис. 1) имеет замкнутую систему, центральным элементом которой выступает управляющий блок — Цифровая платформа.

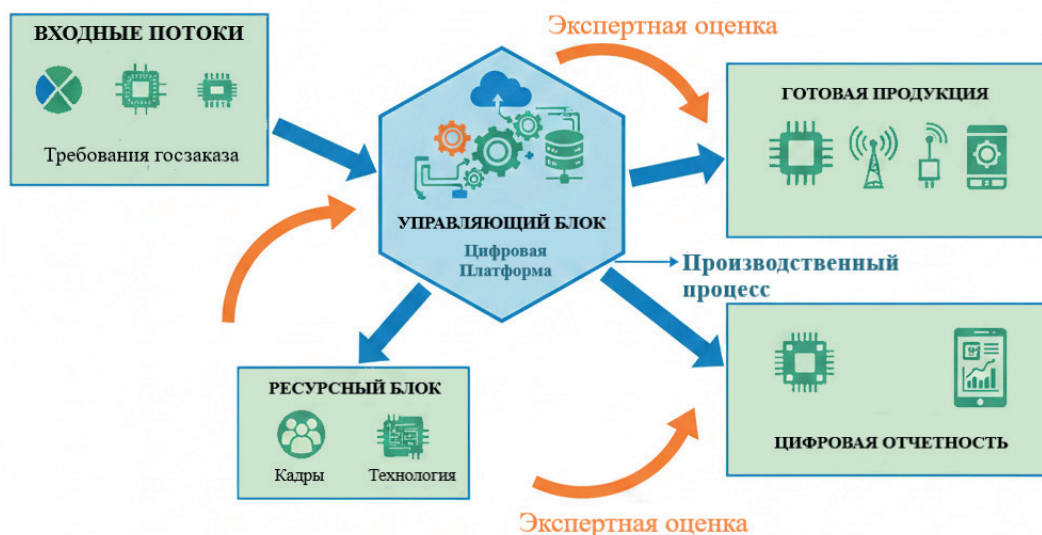


Рис. 1. Модель цифровой трансформации предприятий радиоэлектронной промышленности в контексте госзаказа

Функционирование модели начинается с входных потоков, которые формируются на основе требований госзаказа (технические задания, стандарты и нормативы), которые, поступают в центральный управляющий блок. Цифровая платформа, интегрированная в этот блок, обрабатывает входные данные, сопоставляя их с возможностями ресурсного блока. Ресурсный блок объединяет кадры (необходимые компетенции и специалисты) и технологии (производственное оборудование и программное обеспечение).

Управляющий блок, используя данные о ресурсах, инициирует и контролирует производственный процесс, результатом которого является готовая продукция. Кроме того, функционирование платформы обеспечивает генерацию цифровой отчетности, отражающей ход выполнения госзаказа, использование ресурсов, соответствие стандартам и финансовые показатели.

Основой контроля и совершенствования в модели является экспертная оценка, которая действует по двум основным контурам обратной связи. Во-первых, экспертная оценка анализирует готовую продукцию на соответствие исходным требованиям госзаказа, после чего результаты оценки возвращаются в управляющий блок для корректировки производственных алгоритмов. Во-вторых, экспертная оценка анализирует цифровую отчетность, проверяя прозрачность и эффективность процесса, а также соответствие использованных ресурсных блоков (кадры и технологии) поставленным целям. Таким образом, модель обеспечивает непрерывное совершенствование и оптимизацию процессов выполнения государственного заказа за счет постоянной циркуляции данных и экспертных оценок.

Для формализации модели введем целевую функцию эффективности выполнения госзаказа E_{goz} . Эффективность зависит от совокупности факторов, которые мы оптимизируем за счет цифровой трансформации.

Пусть E_{goz} — множество состояний производственной системы предприятия. Целевая функция представлена как максимизация интегрального показателя качества исполнения контракта при минимизации затрат и времени:

$$E_{goz} = \int_{t_0}^T \alpha \cdot Q(t) - \beta \cdot C(t) - \gamma \cdot R(t) dt \rightarrow \max, \quad (1)$$

где $Q(t)$ — функция качества продукции и процессов (уровень импортозамещения);

$C(t)$ — функция затрат (операционных и транзакционных);

$R(t)$ — функция рисков (срыва сроков, брака, отсутствия ЭКБ);

α, β, γ — весовые коэффициенты, определяемые приоритетами конкретного госконтракта (напри-

мер, для оборонного заказа и имеют критическое значение);

T — директивный срок исполнения контракта.

В рамках предложенной модели, цифровая трансформация влияет на параметры модели следующим образом. Введем вектор цифровой зрелости:

$$D = \{d_{plat}, d_{stand}, d_{metro}\}, \quad (2)$$

где d_{plat} — уровень внедрения цифровой платформы взаимодействия;

d_{stand} — уровень цифровизации стандартизации;

d_{metro} — уровень метрологического обеспечения.

Зависимость времени согласования технического решения T_{agr} от уровня цифровизации описывается нелинейной функцией:

$$T_{agr}(D) = T_{base} \cdot e^{-k(d_{plat}+d_{stand})}, \quad (3)$$

где T_{base} — базовое время согласования в «бумажном» режиме;

k — коэффициент эффективности внедрения ПО.

Риск невозможности импортозамещения R_{imp} минимизируется за счет доступа к единой базе данных аналогов:

$$R_{imp} = \frac{1}{1 + \mu \cdot I_{db}}, \quad (4)$$

где R_{imp} — полнота и актуальность базы данных импортозамещающей продукции (индекс, обеспечиваемый системой поддержки);

μ — коэффициент эластичности;

I_{db} — коэффициент единой базы данных аналогов.

Апробация предложенной модели цифровой трансформации была проведена на основе расчетных данных для типового предприятия радиоэлектронной промышленности — ООО «Электроника-М», выполняющего опытно-конструкторскую работу (далее — ОКР) по созданию модуля связи в рамках государственного заказа.

Для проведения апробации модели цифровой трансформации были использованы данные, характерные для типового проекта в радиоэлектронной промышленности, выполняемого в рамках государственного заказа. Тип контракта был определен как ОКР, со сроком выполнения (T_{total}) составляющим 24 месяца. Общий бюджет контракта ($C_{contract}$) установлен на уровне 500 млн. руб. Проект отличался высоким уровнем кооперации, предполагающим взаимодействие 15 соисполнителей. Средняя численность инженерного персонала (N_{emp}), непосредственно задействованного в проекте, составила 100 человек, при

этом средняя месячная заработная плата инженера (W_{avg}) (все налоги и отчисления) была принята равной 150000 руб. Базовое время согласования технического решения (T_{base}) в традиционном режиме, без использования цифровых платформ, было зафиксировано на уровне 14 дней.

Сценарии моделирования:

Сценарий А (базовый) - традиционное взаимодействие, основанное на бумажном документообороте, не интегрированных информационных системах и разрозненных базах данных ЭКБ.

Сценарий Б (трансформированный) – внедрение сквозной цифровой платформы экспертной оценки и информационного взаимодействия, а также единой системы управления данными об изделии (PDM) и цифровых библиотек стандартов.

Расчет показателей эффективности.

1. Сокращение транзакционных издержек (C_{trans}).

Транзакционные издержки определяются как затраты, связанные с непроизводственными операциями: поиском информации, согласованием технической документации (ТЗ, КД), оформлением заказов комплектующих и служебной перепиской.

Формула расчета транзакционных издержек в год (C_{trans}):

$$C_{trans} = N_{emp} \cdot W_{avg} \cdot P_{trans} \cdot T, \quad (5)$$

где N_{emp} – численность инженерного персонала (чел.);

W_{avg} – средняя месячная заработная плата инженера (руб./мес.);

P_{trans} – доля времени, затрачиваемая на транзакционные операции (в долях ед.);

T – продолжительность контракта в месяцах (мес.).

Расчет для сценария А (базовый):

$$C_{trans}^A = 15 \% = 0,15.$$

$$C_{trans}^A = 100 \cdot 150000 \cdot 0,15 \cdot 24 = 54000000 \text{ руб.}$$

Расчет для сценария Б (трансформированный):

Благодаря автоматизации, P_{trans}^B снижается до 3 % = 0.03

$$C_{trans}^B = 100 \cdot 150000 \cdot 0,03 \cdot 24 = 10800000 \text{ руб.}$$

Экономия транзакционных издержек (ΔC_{labor}):

$$\Delta C_{labor} = 54000000 - 10800000 = 43200000 \text{ руб.}$$

$$\Delta C_{labor} = C_{trans}^A - C_{trans}^B \quad (6)$$

2. Расчет времени согласования технического решения (T_{agr}).

Использование цифровых платформ и автоматической проверки документации на соответствие стандартам (метрологический контроль) минимизирует итерацию переработки прототипов. В модели используется формула, описывающая нелинейную зависимость времени согласования от уровня цифровизации (D):

$$T_{agr}(D) = T_{base} \cdot e^{-k \cdot D_{index}} \quad (7)$$

где T_{agr} – итоговое время согласования (дней);

T_{base} – базовое время согласования в Сценарии А (дней);

e – основание натурального логарифма ($e \approx 2,718$);

k – коэффициент эффективности внедрения цифровой платформы ($k \approx 0,4$);

D_{index} – интегральный индекс цифровизации (в модели: $D_{index} = d_{plat} + d_{stand}$).

Расчет для сценария А (базовый):

Индекс цифровизации в сценарии А (начальное состояние) и $D_{index}^A = 0,2$ (начальный уровень автоматизации).

$$T_{arg}^A = 14 \cdot 2,718^{-0,4 \cdot 0,2} = 12,92 \approx 13 \text{ дней}$$

(Принимаем $T_{arg}^A = 13$ дней для упрощения, так как базовый уровень цифровизации минимален).

Расчет для сценария Б (трансформированный):

Индекс цифровизации в сценарии Б (после внедрения): $D_{index}^B = 0.8$ (рост на 0.6).

Разница индексов, влияющая на сокращение времени:

$$\Delta D = D_{index}^B - D_{index}^A \quad (8)$$

$$\Delta D = 0,8 - 0,2 = 0,6$$

Показатель, используемый в расчете $D_{calc} = D_{index}^A + \Delta D$ (уровень внедрения). В расчете, используется единый показатель, отражающий совокупное воздействие: $D_{cumulative} = 1,6$.

$$T_{arg}^B T_{base} \cdot e^{-k \cdot D_{cumulative}} = 14 \cdot 2,718^{-0,4 \cdot 1,6} = 7,38 \approx 8 \text{ дней}$$

Общая экономическая эффективность складывается из трех составляющих:

$$E_{econ} = \Delta C_{labor} + \Delta C_{risk} + \Delta C_{penalty} \quad (9)$$

где ΔC_{labor} – экономия на сокращении транзакционных издержек, заработной платы.

ΔC_{risk} – экономия от предотвращения брака и переделок (связанная с ошибками в метрологии и КД).

$\Delta C_{penalty}$ – предотвращенные штрафы за срыв директивных сроков госконтракта.

Приведем общий итог в таблице в соответствии с полученными данными (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительный анализ показателей эффективности выполнения госзаказа

Показатель	Единица измерения	Сценарий А (традиционный)	Сценарий Б (цифровая модель)	Изменение
Организационно-управленческий эффект				
Среднее время подбора ЭКБ (импортозамещение)	час	120	15	- 87,5 %
Время согласования изменений в КД	дни	14	2	- 85,7 %
Экономия на транзакционных издержках ()	млн руб.	—	43,2	+ 43,2 млн
Технологический и информационный эффект				
Количество ошибок при метрологической экспертизе	% от объема КД	12,0 %	1,5 %	Снижение в 8 раз
Экономия от снижения брака ()	млн руб.	—	21,88	+ 21,88 млн
Нормативно-правовой и финансовый эффект				
Доля срывов сроков поставки комплектующих	%	18 %	5 % (предиктивная аналитика)	- 13 %
Предотвращенные штрафы ()	млн руб.	—	10,0	+ 10,0 млн
Общая экономия бюджета проекта	млн руб. / %	—	75,08 / 15,02 %	+ 75,08 млн

Суммарный эффект (прямая экономия и предотвращенные риски) подтверждает гипотезу о том, что устранение организационно-информационных противоречий, напрямую конвертируется в финансовый результат.

Заключение

Проведенное исследование организационно-технологических аспектов цифровой трансформации предприятий радиоэлектронной промышленности показало, что успешное выполнение госзаказа в современных условиях невозможно без интеграции информационных систем заказчика, головного исполнителя и кооперации.

Подтверждена критическая зависимость успешного выполнения государственного заказа в современных условиях от интеграции информационных систем между всеми субъектами процесса, от заказчика до соисполнителей в рамках кооперации. Низкая интероперабельность и разрозненность баз данных являются основными организационными барьерами, требующими немедленного устранения.

Разработанная и математически формализованная модель цифровой трансформации, основанная на интеграции подсистем стандартизации, метрологического обеспечения и управления производством в единый цифровой контур, показала свою высокую состоятельность. Модель, обеспечивает непрерывное совершенствование процессов за счет двухконтурной экспертной оценки.

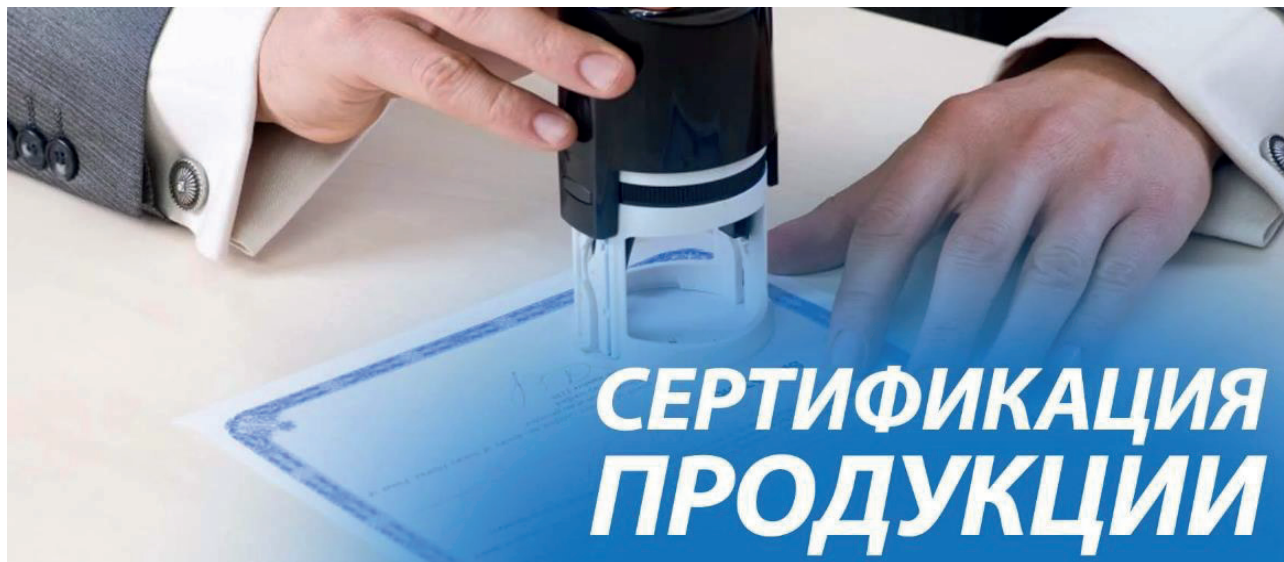
Результаты апробации модели на расчетных данных для типового ОКР демонстрируют значительный экономический эффект. За счет внедрения цифровых решений и сокращения транзакционных издержек, а также минимизации рисков ошибок (брака, срыва сроков) и, следовательно, предотвращения штрафных санкций, общая экономическая эффективность проекта достигает 75,08 млн рублей (15,02 % бюджета). Подтверждена гипотеза о том, что устранение организационно-информационных противоречий, напрямую конвертируется в финансовый результат и повышает технологический суверенитет страны.

Резюмируя: достижение целевого эффекта трансформации требует инвестирования временных, технологических и интеллектуальных ресурсов в соответствующие ИТ-решения. Неотъемлемой частью этого процесса является разработка адекватного организационно-управленческого механизма.

Литература

1. «Стратегия цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности в целях достижения их «цифровой зрелости» до 2024 года и на период до 2030 года». Минпромторг России. 2021. 96 с.
2. Большаков А. «Барьеры и инструменты стимулирования цифровой трансформации отрасли» // Цифровая трансформация радиоэлектроники: исследование радиоэлектронной отрасли. АО «ЦНИИ «Электроника», 2019. С. 23-25.

3. Фомина А. «Цифровая трансформация радиоэлектроники» // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2019. – № 8 (189). – С. 140-148. – DOI 10.22184/1992-4178.2019.189.8.140.146.
4. Иванов И.С., Трусов В.А. «Формирование системы информационной поддержки процессов импортозамещения в радиоэлектронной промышленности» // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. – 2025. – 3 (19). – С. 2-8.
5. Иванов И.С., Кузнецов С.В., Трусов В.А. «Формирование системы информационного взаимодействия субъектов радиоэлектронной промышленности» // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. – 2024. – № 4 (16). – С. 9-13.
6. Иванов И.С. «Принципы и подходы к формированию отраслевой системы информационного взаимодействия и информационной поддержки процессов развития и совершенствования системы стандартизации радиоэлектронной продукции гражданского назначения» // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. – 2024. – №4 (16). – С. 2-9.
7. Гожун Д.В., Хорошавина Н.С. «Цифровая трансформация радиоэлектронной промышленности: барьеры интеграции информационных систем» // Вестник науки. – 2025. – Т. 3. – №. 5 (86). – С. 1526-1534.
8. Боякова К.Н. «Политика регулирования цифровой трансформации промышленности в России». // Журнал «Бизнес. Общество. Власть». – 2022. – № 44-45. – С. 126-140.
9. Приказ Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ от 18 января 2023 г. N 21 «Об утверждении Методических рекомендаций по переходу на использование российского программного обеспечения, в том числе на значимых объектах критической информационной инфраструктуры Российской Федерации, и о реализации мер, направленных на ускоренный переход органов государственной власти и организаций на использование российского программного обеспечения в Российской Федерации». <https://base.garant.ru/406410773/>
10. Методические рекомендации по цифровой трансформации государственных корпораций и компаний с государственным участием (от 4 июля 2025 г. № 29пр). <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/412326674/>



ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ ПРОДУКЦИИ ФГБУ «ВНИИР»

Орган по сертификации продукции располагает высококвалифицированными, компетентными экспертами с большим опытом работы и проводит обязательную сертификацию продукции на соответствие требованиям технических регламентов таможенного союза:

- ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования»;
- ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования»;
- ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств».

141008, Московская область, г.о. Мытищи, г. Мытищи, ул. Колпакова, д. 2А +7 (495) 586-17-21 доб. 1254, e-mail:kosminov@vniir-m.ru



ВНИИР

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

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

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

Лаборатория МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ 15 видов испытаний

Лаборатория КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ 27 видов испытаний

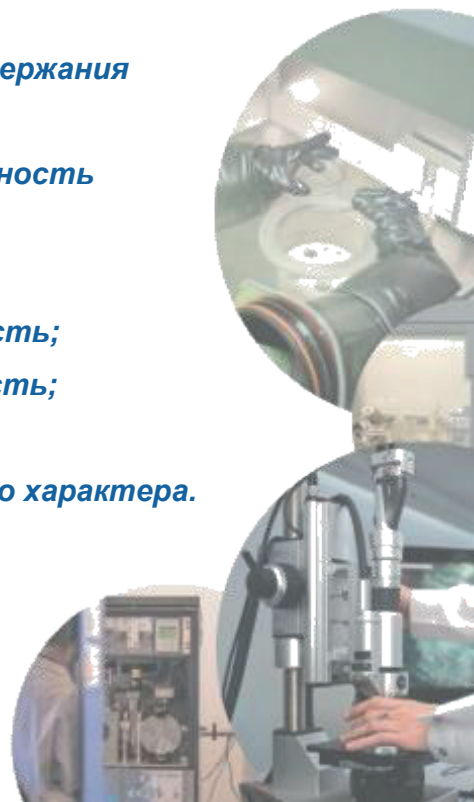
Лаборатория ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ 17 видов испытаний

Лаборатория ДНК и РФА 30 видов испытаний

Испытательный Центр располагает:
52 единицы аттестованного испытательного оборудования;
216 единиц поверенных средств измерений;
квалифицированный персонал.

Уникальные виды испытаний ЭКБ и РЭА:

- *определение отсутствия признаков контрафактного происхождения ЭКБ;*
- *диагностический неразрушающий контроль (акустический и рентгеновский);*
- *разрушающий физический анализ (контроль содержания паров воды внутри корпусов микросхем)*
- *испытания на виброустойчивость и вибропрочность воздействием синусоидальной или случайной широкополосной вибрации;*
- *испытаний на ударную прочность и устойчивость;*
- *испытания на электромагнитную совместимость;*
- *воздействие плесневых грибов;*
- *воздействие факторов резко континентального характера.*



141008, Московская область, г.о. Мытищи, г. Мытищи, ул. Колпакова, д. 2А
+7 (495) 586-17-21 доб. 1434, 1404; e-mail: vniir@vniir-m.ru, сайт: vniir-m.ru



ВНИИР

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР

Учебный центр в рамках дополнительного профессионального образования проводит занятия по программам повышения квалификации с выдачей Удостоверения о повышении квалификации

- Разработка, внедрение, поддержание и улучшение СМК предприятий РЭП, разработчиков (производителей) ЭКБ и РЭА, на соответствие ГОСТ Р ИСО 9001-2015 и ГОСТ РВ 0015-002-2020 на основе применения современных методов менеджмента
- Организация функционирования испытательных лабораторий (центров). Основные требования, порядок проведения испытаний ЭКБ ОП, ЭКБ ИП и РЭА
- Требования ЭС РД 010-2020 к квалификации поставщиков ЭКБ. Порядок и процедуры их внедрения
- Обеспечение надёжности, контроля, управление качеством и анализ причин отказов ЭКБ и РЭА
- Метрологическое обеспечение разработки, производства, испытаний ЭКБ и РЭА
- Организация и проведение внутреннего аудита СМК (СК) предприятий разработчиков, изготовителей и поставщиков ЭКБ
- Стандартизация в электронной и радиоэлектронной промышленности. Система унификации и управления стандартами. Унификация требований для электронной продукции гражданского и специального назначения
- Патентный поиск и патентные исследования. Правовые, экономические и технические основы управления результатами интеллектуальной деятельности
- Каталогизация. Формирование, ведение и применение Перечня и номенклатуры ЭКБ отечественного производства
- Управление проектной деятельностью в радиоэлектронной отрасли. Проектирование и освоение
- Подготовка обоснований по ограниченному применению импортной электронной продукции
- Проведение анализа технологической готовности организаций к развитию производства, разработка мероприятий по возможности обоснования применения мер поддержки

141002, Московская область, г.о. Мытищи, г. Мытищи, ул. Колпакова, д. 2А
+7 (495) 586-17-21 доб. 1230, 1356; e-mail: vniir@vniir-m.ru; сайт: vniir-m.ru

