

# **4** <sup>(20)</sup> | **РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ:** **2025** | **ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ**



**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**

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





## Круглый стол «Проверка телекоммуникационного оборудования для включения в реестр российской промышленной продукции»

**Время:** 11:00 - 12:30

**Место:** Конференц-зал №1

В центре обсуждения – практические аспекты проверки телекоммуникационного оборудования для его включения в реестр российской промышленной продукции.

**Основные темы:**

- изменения в законодательстве и порядок подачи заявлений;
- организация проверок ФГБУ «ВНИИР» и ТПП РФ;
- выездные проверки и демонстрация производственных процессов;
- проблемы отрасли связи и опыт заявителей.

**Участники:** специалисты Минпромторга России, ТПП РФ, ФГБУ «ВНИИР», АНО «ТКО», ООО «ПК Аквариус».

**Модератор:** А.А. Кусакин (ВНИИР).



## Круглый стол «Мероприятия по развитию системы стандартизации радиоэлектронной продукции гражданского назначения»

**Время:** 13:00-14:30

**Место:** Конференц-зал №1

Мероприятие посвящено актуальным вопросам стандартизации в области радиоэлектронной продукции.

**Среди ключевых тем:**

- программное планирование работ по стандартизации;
- единая система сертификации ЭКБ;
- международная стандартизация и подготовка кадров;
- локализация ЭКБ для автоэлектроники и железнодорожного транспорта.

**Участники:** представители ФГБУ «ВНИИР», АО «НИИМА «Прогресс», АО «РНИИ «Электронстандарт», НИУ МИЭТ, АНО «КПП», НИУ ВШЭ, АО «МНТЦ МИЭТ», НПП «ИТЭЛМА», Консорциум «Автокомпоненты и телематика», ГК «Роскосмос», АО «РКС», АО «Микрон», ТК 166 и другие профессиональные организации.

**Модераторы:** С.Б. Подъяпольский (ВНИИР) и А.В. Зажигалкин (Академия стандартизации).

Оба мероприятия пройдут в рамках деловой программы выставки, направленной на развитие отечественной радиоэлектронной промышленности и укрепление кооперации между научными, образовательными и производственными организациями.

## РО Пир 4(20)/2025 (Основан в 2021 году)

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

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

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

### РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

### ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

### Заместители главного редактора:

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

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

### РЕДАКЦИЯ:

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

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

### Отпечатано:

Юридический адрес: Колпакова ул., д. 2а, г. Мытищи,  
г.о. Мытищи, Московская обл., Россия, 141002  
Тел/факс: +7 (495) 586–17–21 / +7 (495) 588–69–61  
Сдано в набор 05.11.2025 г.

Подписано к печати 25.11.2025 г.

Тираж 350 экз.

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ

*Дормидошина Д.А., Рубцов Ю.В.*

Обзор и анализ методов автоматического оптического контроля качества изделий электронной техники ..... 2

*Афанасьев А.С., Конча М.И., Болдырев М.А.*

Организация и порядок проведения модернизации, модификации и совершенствования изделий электронной компонентной базы ..... 18

*Иванникова Л.Л., Катушкин Ю.Ю., Михайлова К.А.*

Зарубежный опыт нормирования затрат на НИОКР в области создания электронной компонентной базы для вооружения и военной техники: сравнительный анализ подходов США и стран Европы ..... 22

*Таганова М.В., Меркин С.Ю., Вязников А.Н.*

Разработка фотодиодной мишени для инфракрасного видикона ..... 28

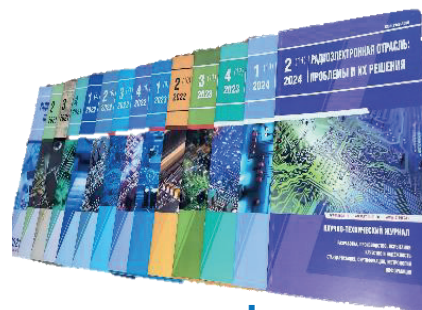
*Баталов К.С., Татаурщиков С.С., Егоренков А.А., Чельшikov С.Н., Вязников А.Н.*

Разработка и результаты исследования матричного КМОП-фотоприемника ..... 33

### СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ

*Шведов А.В.*

Один из вариантов методики сквозного контроля подразделений поставщика ЭКБ по выполнению процедуры идентификации и прослеживаемости закупаемой и поставляемой продукции ..... 36



## Уважаемые читатели!

Открыта подписка на научно-технический журнал

«Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения»

141002, Московская область, г.о. Мытищи, г. Мытищи,  
ул. Колпакова, д. 2А +7 (495) 586-17-21 доб. 1356, 1459;  
e-mail: vniir@vniir-m.ru, сайт: vniir-m.ru



УДК 658.56; 621.3

**ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ  
КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ**

**REVIEW AND ANALYSIS OF METHODS FOR AUTOMATIC OPTICAL QUALITY CONTROL  
OF ELECTRONIC PRODUCTS**

**Дормидошина Д.А.**, заместитель генерального директора, эксперт по стандартизации,  
АО «ЦКБ «Дейтон», +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.** Deputy General Director, Standardization Expert,  
JSC CKB Deiton, +7 (925) 104-77-96, dormidoshina@deyton.ru,  
**Rubtsov Yu.V.**, General Director, Standardization Expert, JSC CKB Deiton,  
+7 (926) 009-37-00, rubtsov@deyton.ru

**Аннотация:** электронная промышленность является одной из самых быстроразвивающихся, инновационных и наиболее конкурентоспособных отраслей. С целью обеспечения высоких требований к изделиям электронной компонентной базы, система контроля качества должна быть на высоком уровне. Автоматический оптический контроль является одним из неразрушающих методов, используемых в системах контроля качества продукции. Этот метод считается надежным и может заменить инспекторов-людей, оценка качества которых субъективна и не всегда соответствует истинному положению дел.

Система автоматизированного оптического контроля состоит из аппаратных и программных средств. Датчики изображения и подсветки в составе аппаратной части отвечают за получение изображения, в то время как программная часть выполняет извлечение особенностей полученных изображений и их классификацию на наличие дефектов на поверхности изделий. С помощью сортировочного механизма можно отделить бракованную продукцию от годной.

В данной статье представлен всесторонний обзор результатов исследований, разработки и применения систем автоматизированного оптического контроля качества электронной компонентной базы, используемой в радиоэлектронной аппаратуре. Рассмотрены дефекты изделий.

Алгоритмы контроля, используемые для обнаружения дефектов, обсуждаются с точки зрения обработки изображений, извлечения признаков и использования инструментов классификации. Статья завершается выделением современных тенденций и возможных будущих направлений исследований.

**Annotation:** the electronics industry is one of the fastest growing, most innovative and most competitive industries. In order to ensure high requirements for electronic component base products, the quality control system must be at a high level. Automatic optical testing is one of the non-destructive methods used in product quality control systems. This method is considered reliable and can replace human inspectors, whose quality assessment is subjective and does not always correspond to the true state of affairs. The automated optical testing system consists of hardware and software. Image and backlight sensors in the hardware are responsible for obtaining images, while the software extracts features of the obtained images and classifies them for defects on the surface of products. Using a sorting mechanism, it is possible to separate defective products from good ones. This article presents a comprehensive review of the results of research, development and application of automated optical quality control systems for electronic component base used in electronic equipment. Product defects are considered. The control algorithms used to detect defects are discussed in terms of image processing, feature extraction and the use of classification tools. The article concludes by highlighting current trends and possible future directions for research.

**Ключевые слова:** автоматический оптический контроль, алгоритмы классификации, электронная компонентная база, извлечение признаков, обработка изображений, камера изображения, машинное обучение, компьютерное зрение.

**Keywords:** automatic optical inspection, classification algorithms, electronic component base, feature extraction, image processing, image camera, machine learning, computer vision.

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

## Введение

Несвоевременно обнаруженные дефекты увеличивают затраты и ухудшают производственные процессы [1]. Своевременное и точное обнаружение дефектов помогает предприятиям обеспечивать стабильность, поддерживать конкурентное преимущество [2]. В настоящее время используется несколько методов контроля качества, таких как ультразвуковая инспекция, система электромагнитного контроля, испытание с проникающим красителем, термография, рентгеновская инспекция, тестирование электрических цепей, оптическая инспекция. Они помогают оценить качество продукции с целью достижения 100 % годности. Большинство из этих методов считаются неразрушающими, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки:

### 1. Система ультразвукового контроля.

Состоит из нескольких функциональных блоков – таких как генератор импульсов, приемник, передатчик и устройство визуального контроля. Ультразвуковой контроль использует электрическое напряжение, создаваемое генератором импульсов, для активации передатчика. Передатчик генерирует звуковые сигналы на частотах, выходящих за пределы человеческого слуха (более 20 кГц), для оценки некоторых свойств проверяемого изделия путем анализа переданных или принятых сигналов, обнаруженных приемником [3]. Обладает высокой скоростью сканирования, хорошим разрешением и способностью обнаружения дефектов. Подходит для использования в испытательных условиях и на сборочной линии, где один и тот же типонаминал изделия испытывается многократно [4]. Для проведения работ необходимо выровнять сигналы, которые относятся к материалам разной толщины. Для точного сканирования детали требуется высокая квалификация. Существует необходимость изготовления тестового образца для обеспечения точного тестирования.

### 2. Система электромагнитного контроля.

Конструкция состоит из магнитной катушки, которая индуцирует магнитное поле, и электромагнитных датчиков. Взаимодействие между подвергаемым магнитным полем и проверяемым компонентом индуцирует вихревой ток, который измеряется с помощью электромагнитных датчиков [5, 6]. Система электромагнитного контроля обладает высокой чувствительностью к проводимости материалов изделия. Простая и удобная в реализации. Проверка может быть реализована без прямого физического контакта между датчиком и проверяемым компонентом. Полученный электрический сигнал низкий; таким образом, требуются чувствительные и точные электромагнитные датчики, и в целом измерительные приборы для улучшения отношения сигнал/шум. Скорость сканирования должна быть увеличена при инспекции изделий с большой площадью (например, печатные платы). Инспекция ограничена проводящи-



Дормидошина Д.А. Ю.В. Рубцов

ми материалами (ферромагнитными или неферромагнитными) [7, 8].

### 3. Инспекция проникающими красителями.

Цветная жидкая пенетрантная (вещество со специальным химическим составом, используемое при проведении капиллярного метода неразрушающего контроля) жидкость наносится на проверяемую поверхность для обнаружения дефектов. Для выделения дефектных элементов на проверяемой поверхности используется источник света. Подходит для выявления дефектов поверхности, таких как трещины. Считается простым и недорогим методом. «Пенетрантная» относится к капиллярному методу неразрушающего контроля, в котором используется специальное вещество (пенетрант), проникающее в открытые дефекты на поверхности изделия для их выявления. Этот метод был предметом исследований до 90-х годов, но никаких дальнейших значительных разработок не было опубликовано с тех пор. Капиллярность и вязкость жидкости, используемой для проверки, могут влиять на точность этого метода [9]. Требуется вмешательство человека-инспектора.

### 4. Термография.

Тепловой датчик используется для измерения инфракрасного излучения от проверяемого компонента и преобразования потока излучения в температуру. Распределение температуры может быть затем проиллюстрировано в виде тепловых изображений. Подходит для поверхностных и внутренних инспекций, а также для обнаружения пустот и трещин. Тепловой шум может повлиять на точность результатов. Возможность обнаружения внутренних дефектов ограничена определенным диапазоном контроля. Могут возникнуть проблемы с перегревом [10].

### 5. Система рентгеновского контроля.

Состоит из трех компонентов: источника рентгеновского излучения (трубки), детектора рентгеновского излучения и приспособления для удержания и контроля положения проверяемого изделия. Передача рентгеновского излучения источником через изделие, приемник получает переданную энергию. По переданной энергии можно оценить внутреннее состояние проверяемого изделия. Подходит для поверхностных и внутренних инспекций, а также для обнаружения пустот и трещин. Методы могут быть разрушительными, нарушить функциональность изделия. Низкое разрешение на микроуровневом кон-

троле. Длительное время обработки [10].

6. Тестирования электрических цепей с помощью зондов.

Метод широко используется для контроля полупроводниковых структур путем создания временного электрического контакта между испытательным оборудованием и каждым отдельным контактом на кристалле в составе пластины или отдельно для определения состояния кристалла (дефектный или не дефектный). Основные компоненты системы тестирования цепей зондов включают зонды, зондовые карты, зондовые станции и измерительное оборудо-

вание. Является самым простым и прямым методом тестирования кристаллов. Считается разрушающим испытанием. Могут возникнуть ошибки зондирования, которые приводят к тому, что исправные кристаллы становятся дефектными [11].

7. Оптическая инспекция.

Позволяет обнаруживать поверхностные изъяны и дефекты в соответствии со зрительным восприятием человека. Выполняется с использованием ручного осмотра, микроскопов и автоматической оптической инспекции (далее – АОИ). Структурная схема типовой АОИ показана на рис. 1.

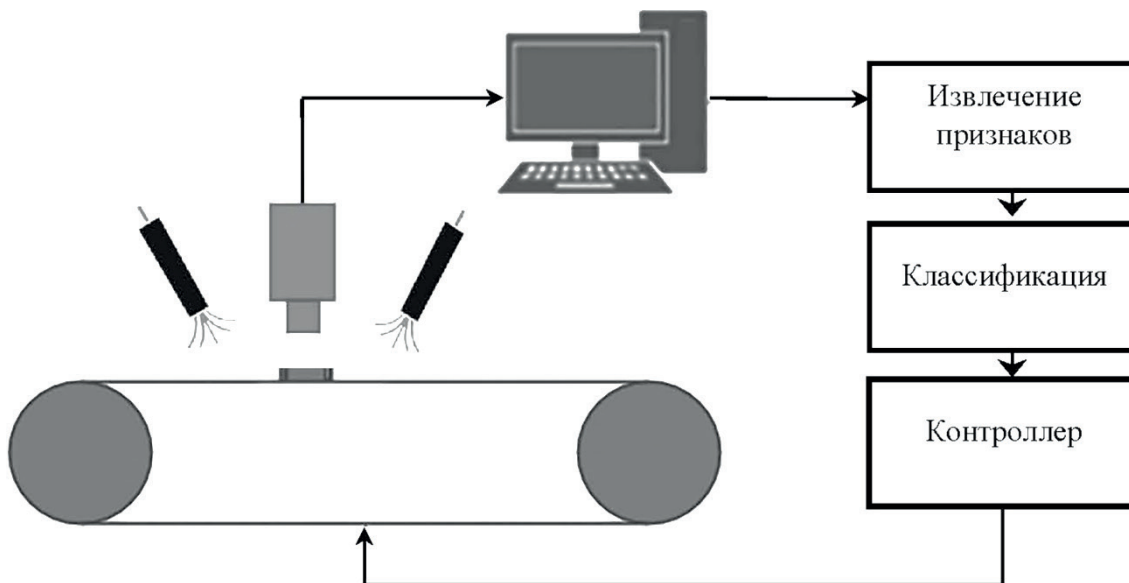


Рис.1. Структурная схема типовой АОИ

В АОИ собранные изображения проходят некоторые этапы улучшения (предобработки) перед применением. Затем используются методы извлечения и выбора признаков для сегментации дефектных областей и обнаружения важных дефектных характеристик. Следующий этап заключается в предоставлении обработанной информации алгоритму классификации, как показано на рис. 1.

Для завершения цикла АОИ некоторые исследователи и разработчики рассмотрели возможность создания механизма сортировки для разделения продуктов на различные категории качества (например, брак или дефект, не являющийся браком, годные), как показано на рис.1. Для этого используется контроллер, который отправляет команду (в соответствии с решением, полученным от алгоритма инспекции) системе сортировки, состоящей из манипуляторов отбора, или конвейерной ленты.

Среди рассмотренных методов АОИ является одной из самых распространенных процедур, используемых в промышленности [3]. Однако, неэффективен для внутренних дефектов. Ручной оптический контроль считается дорогостоящим и может вызывать усталость у инспектора-человека и допущение ошибок. АОИ – это оптимально используемый тип

среди всех решений к контролю качества. Считается бесконтактным и неразрушающим. Обнаруживает поверхностные дефекты и изъяны. АОИ может сэкономить время и повысить точность обнаружения.

## 1 Общая характеристика оптических методов контроля качества изделий электронной техники

Оптические методы контроля качества изделий электронной техники (далее – ИЭТ) можно подразделить на ручные (проводимые человеком-инспектором) и АОИ, которая выполняется с использованием компьютерного зрения (далее – КЗ). Эффективное объединение технологий захвата и обработки изображений в последние годы вызвали значительные изменения в АОИ по сравнению с ручной оптической инспекцией для мониторинга качества и неразрушающего контроля [3]. Автоматизация процесса мониторинга и контроля качества приведет к значительным приростам производительности в будущем. Стоит отметить, что ручная оптическая инспекция увеличивает время проверки и снижает точность. Авторы в [12, 13] также показали, что человеческое зрение снижается из-за скучной и бесконечной рутинной работы.

С другой стороны, современные устройства захвата изображения способны обнаруживать ми-

кродефекты и признаки с низкой интенсивностью и контрастом, которые даже самые опытные специалисты-инспекторы не могут обнаружить. Недавние исследования также показали, что люди не могут справиться с определением цветовых дефектов, так как цвет является психологическим восприятием, даже если он вызван физическим излучением.

Автоматизированные системы захвата данных с помощью КЗ проложили путь для масштабных наблюдений, помогая собирать статистически значимую информацию для методов анализа и обеспечения качества. Чен и Харлоу [13] в своей работе привели шесть причин производительности и эффективности для использования АОИ вместо ручной инспекции:

1. освобождение людей от скучной и рутинной работы;
2. экономия затрат на человеческий труд;
3. выполнение инспекции в неблагоприятной среде (производственные процессы изготовления ИЭТ могут быть шумными и токсичными);
4. снижение потребности в высококвалифицированных специалистах-инспекторах;
5. анализ статистики обнаружения дефектов и ведение записей для управления и принятия решений;
6. совмещение высокоскоростного производства ИЭТ с высокоскоростной инспекцией.

В дополнение к этому можно отметить расширение масштаба, объема, применения и технологий, которые предоставляют глубину, широту и множественные перспективы.

Алгоритмы АОИ были значительно улучшены за счет интеграции с методами машинного обучения (МО), что значительно повысило результаты и скорость процесса обнаружения [14, 15]. Тимм и Барт в [16] предложили, что алгоритм АОИ должен удовлетворять двум основным требованиям:

1. 100 % уровень обнаружения;
2. минимальный уровень ложных срабатываний.

Сверточные нейронные сети (далее – СНС) одни из распространенных алгоритмов МО, используемых в последнее время для целей инспекции [17]. Это связано с тем, что СНС специально предназначены для работы с изображениями. Более того, им не требуется выделение признаков или предобработка изображений. Таким образом, процессы предобработки и выделения признаков встроены в скрытые слои СНС.

Технологии АОИ в настоящее время используются во многих областях для инспекции, таких как пищевая промышленность [18], текстиль [19], строительство [17], металлы [20] и медицинские приложения [21].

Цель данного исследования заключается в том, чтобы рассмотреть и критически оценить результаты

исследований, посвященные системам АОИ и алгоритмам для обнаружения дефектов в электронной промышленности за последние два десятилетия. Стоит отметить, что эта обзорная статья предназначена для того, чтобы выделить текущие тенденции АОИ в электронной промышленности и помочь исследователям получить общее представление о современных разработках в этой области.

## 2 Применение автоматизированной оптической инспекции в электронной промышленности

Электроника является одной из наиболее быстро развивающихся, инновационных и конкурентоспособных отраслей [22]. Последние пять лет характеризовались ростом на развивающихся рынках и внедрением новых продуктов, что привело к тому, что больше людей стали покупать потребительскую электронику. Глобальная индустрия потребительской электроники по данным [23] в 2024 году оценивается в 1.214,11 млрд долларов США. Прогнозируется, что к 2030 году объем этого рынка достигнет 1.782,60 млрд долларов США, а среднегодовой темп роста (CAGR) в период с 2025 по 2030 год составит 6,6 %. Производство электроники включает в себя множество производственных процессов, от автоматизированных сборочных линий до испытаний и окончательной ручной сборки [24]. Размеры электронных продуктов становятся больше для домашних дисплейных устройств, таких как ЖК-телевизоры. Или размеры продуктов резко сокращаются для портативных или носимых устройств, таких как смартфоны и умные часы, в результате чего потребность в системе АОИ для различных размеров электронных продуктов не была исключением [25].

На самом деле проблемы, с которыми сталкивается электронная промышленность, гораздо более серьезны по сравнению с другими, поскольку ИЭТ и производственные планы быстро развиваются и имеют, как правило, короткие жизненные циклы [26]. Эти проблемы требуют изменения параметров этапов жизненного цикла изделий. Все эти изменения (независимо от того, являются ли они краткосрочными или долгосрочными) приводят к наличию брака в продукции и поэтому обеспечение качества и улучшение процессов являются очень важными в электронной промышленности.

Согласно исследованию Се и др. в [27], в электронной производственной отрасли дефект – это состояние, которое может быть недостаточным для обеспечения функциональности конечного продукта. Настоящие исследования установили, что АОИ в электронной промышленности широко используется в следующих направлениях:

1. применяемые материалы;
2. элементы ИЭТ, в том числе выводные рамки, корпуса;
3. полупроводниковые пластины, кристаллы,



микросхемы и полупроводниковые приборы, резисторы, конденсаторы и другие изделия электронной компонентной базы (далее – ЭКБ);

4. печатные платы (далее – ПП), узлы и блоки радиоэлектронной аппаратуры (далее – РЭА).

В некоторых исследованиях рассматривалась АОИ для некоторых других изделий, применяемых в радиоэлектронике (крепеж и пр.).

Наибольшая концентрация исследований, рассмотренных в этой работе, была проведена в Тайване с процентом 41,84 %, за ним следует материковый Китай с 22,7 %, затем Южная Корея с 12,8 %. Это не вызывает удивления, так как, согласно отчету, в [28], большая часть мировых поставок ЭКБ производится в Азии. Более того, Азия теперь является основным конечным рынком для многих товаров электроники. Например, в 2018 году 40 % всех персональных компьютеров, проданных по всему миру, были проданы только в Китае. Согласно тому же отчету, экспорт электроники только из Тайваня составляет 45 % от общего объема экспорта страны, в то время как Китай и Южная Корея составляют по 35 % каждый. Средний показатель для общего экспорта электроники в Азии составляет 30 %.

Таким образом, объёмы ИЭТ растут, за ними растут требования и номенклатура дефектов, которая нуждается в проведении АОИ.

### 3 Эволюция дефектов и результаты исследований по их обнаружению

В этом разделе оценивается историческая эволюция процесса перехода и перевода видимых дефектов, выявленных датчиками, в данные для автоматического извлечения признаков дефектов ИЭТ, классификации и оценки АОИ.

#### 3.1. Дефекты светодиодов

Самыми массовыми в применении в настоящее время стали светодиоды (LED – Light-Emitting Diode). Соответственно, обеспечение их качества в части АОИ стали объектом внимания многих исследователей и производителей [29, 30]. LED используются в различных устройствах, включая мобильные телефоны, осветительное оборудование, автомобильные аксессуары и панели разных размеров [31]. В зависимости от применения число типов LED растёт. Размеры LED уменьшаются, что увеличивает трудности их проверки [32]. В основном существуют два типа проверки: электрическая и оптическая инспекция.

Электрическая инспекция обеспечивает правильную работу, но поскольку обширный стресс-тест не может быть применен ко всем LED, дефекты, которые могут вызвать неисправность через некоторое время, не могут быть точно обнаружены [16]. Поэтому многие исследователи проводили исследования для обнаружения различных дефектов LED с использованием методов АОИ.

Фадзил и Вэнг в [33] были одними из первых исследователей, которые рассматривали дефекты LED с использованием АОИ. Результаты их исследований позволяли проверить поверхностные дефекты на корпусе LED, такие как загрязнение, царапины, пузыри и размытые дефекты. Дефекты такого рода нарушают внешний вид изделий, а также их функциональность и безопасность [34]. Они показали, что каждый тип дефекта имеет специальные характеристики, что позволяет эффективно обнаруживать их с помощью изображения.

Например, дефекты загрязнения (которые вызваны загрязненными формами или пылью) появляются как черные области внутри корпуса и легко различимы на равномерном фоне. С другой стороны, дефекты пузырьков (которые являются результатом неправильного контроля процесса отверждения) выглядят как маленькие черные круги или как небольшие кольца. Другие типы дефектов, вызванные различными отклонениями в процессе производства, проявляются в виде группы царапин.

Пернг и др. в [35] проводили исследование дефектов LED, возникающих в процессах корпусирования. Примеры этих дефектов включают обнаружения отсутствующих элементов, неправильную ориентацию и обратную полярность. Эти дефекты можно идентифицировать с помощью АОИ, преобразовав полученное изображение образца LED в бинарное изображение и изучив количество пикселей сегментированных областей, представляющих интересующие места на изображении.

Куо и др. в [36] проводили исследования для обнаружения инородных частиц в LED. Результаты исследований явились существенным шагом в направлениях развития АОИ.

Бюрмен и др. в [37] проанализировали оптические свойства LED, проецируя их свет на экран и анализируя изображение полученной проекции. Оптические свойства, изученные в этой статье, включали интенсивность, средний цвет, цветовые вариации, угол обзора и смещение оптической оси. Для проведения исследования они соединяли последовательно два LED; один из них был эталонным (без дефектов), а другой – для испытаний, чтобы пропустить один и тот же электрический ток для обоих. Отраженный свет от обоих LED с экрана фиксировался датчиками изображения для дальнейшего анализа. Оптические свойства эталонного LED сравнивались с тем, что для тестирования. Один недостаток этого метода заключается в том, что в процессе тестирования свойства эталонного LED могут изменяться со временем и поэтому тестирование может быть ненадежным.

Другие исследователи рассматривали внутренние дефекты LED в областях кристаллов, где такие дефекты считаются трудными для обнаружения и требуют специального оборудования, такого как сканирующий электронный микроскоп.



Чанг и др. в [38] предложили АОИ для обнаружения дефектных кристаллов в четырехэлементной подложке, такая подложка состоит из более чем 8000 кристаллов, а физическая площадь кристаллов составляла около 200 мкм на 200 мкм. Изображение кристаллов делили на три области: область светового излучения, электрод и фон. Инспекция областей кристаллов проводилась геометрически и эвристически. В геометрической инспекции оценивались размеры кристаллов, ширина, высота, радиус электрода и центр электрода в зависимости от интенсивности излучения. В эвристической инспекции оценивались аномальные области на изображении, такие как пустые пиксели в области светового излучения.

Тимм и Барт в [39] следовали тому же пути в исследовании дефектов кристаллов в силовых LED. Они сосредоточили свое внимание на электроде кристалла и окружающей его области, где могут возникать дефекты разрывов и эрозии. Дефекты эрозии и разрывов приводят к критическим сбоям LED. Поскольку электроды представляют собой круговые области, были изучены радиально закодированные характеристики для поиска пиксельных интенсивностей, которые могут указывать на наличие дефекта. Кроме того, сложность этих дефектов, низкий контраст и сильный шум изображения делают решение достаточно сложным.

Лин в [34] исследовал дефекты от капель воды, возникающие из-за пара, образующегося в процессе производства. Как и в случае с дефектами корпусирования, такие виды дефектов ухудшают функциональность и безопасность. Процесс обнаружения дефекта от капель воды не является простым, так как капли воды имеют полупрозрачный вид и низкий контраст по отношению к поверхности кристалла. Более того, капли воды могут пересекаться с различными текстурами фона, что дополнительно усложняет обнаружение дефектов. Поэтому полученные изображения для этих дефектов были преобразованы в частотную область для извлечения характеристик дефектов.

Куо и др. в [40] рассматривали несколько дефектов LED, таких как царапины на светящейся зоне. Эти дефекты были проанализированы геометрически путем оценки площади и периметрических мер сегментированных областей, полученных из изображений.

Куо и др. в [41] исследовали дефекты LED в двух областях: области электрода и световой области, которые напрямую влияют на световую эффективность. Исследуемые дефекты в области электрода – это загрязнение, отсутствие элементов. В аналогичном исследовании Лин и др. в [42] изучали линии дефектов и царапины двух разных типов кристаллов.

Чжун и др. в [43] исследовали поликристаллические и фрагментарные дефекты кристаллов. Поликристаллические дефекты относятся к кристаллам LED, которые содержат часть другого кристалла

и, следовательно, больше обычных. Фрагментарные дефекты относятся к кристаллам, у которых отсутствует часть, и они меньше обычных кристаллов. Поликристаллические и фрагментарные кристаллы в основном вызваны неправильной резкой их при разделении. Полученные изображения этих дефектов были сегментированы на области. Интенсивности пикселей и геометрические характеристики анализировались на основании минимального охватывающего прямоугольника каждого фрагмента для извлечения дефектных характеристик.

Таким образом, вышеперечисленные результаты исследований можно обобщить и отнести к следующей АОИ дефектов:

1. на куполе корпуса LED, такие как загрязнения, царапины, а также в виде пятен [33];
2. микродефекты, занимающие 0,3 % от общей площади поверхности на прозрачном корпусе LED [44];
3. дефекты в изогнутых светодиодных линзах, на внешних поверхностях линз LED [38];
4. отсутствующий элемент, неправильная ориентация, перепутана полярность, дефекты поверхности [29, 35];
5. наличие посторонних частиц [36];
6. несоответствие параметров интенсивности, изменение цвета и расхождение оптической оси [37, 45];
7. геометрические дефекты кристалла и в области электрода [38, 46];
8. пустые точки в светоизлучающей области [34, 47];
9. дефекты кристаллов на пластине [48];
10. дефекты разрыва и эрозии в области электродов [39];
11. дефекты кристалла, в том числе: фрагментарные сколы, царапины, в том числе, и на контактных площадках [44];
12. дефекты кристалла, несоответствия параметрам интенсивности освещения [31];
13. поликристаллические и фрагментарные дефекты [43];
14. загрязнения, дефекты, не связанные с зондом [41].
15. линейные дефекты [42].

### 3.2 Дефекты полупроводниковых пластин

Прогресс в технологии и дизайне полупроводниковых приборов стал движущей силой успешного развития ИЭТ [49]. Большинство ЭКБ изготавливается с использованием полупроводниковых пластин [50]. Они состоят из кристаллов. Поэтому процесс изготовления является сложным, долгим и дорогим, включает в себя сотни химических этапов, которые должны проходить в чистой комнате, таких как окисление, фотолитография, травление, ионная имплантация и металлизация, и требует мониторинга большого количества ключевых параметров процес-

са [51, 52]. После процесса изготовления полупроводниковых пластин производится АОИ для каждого изготовленного кристалла. Для визуализации дефектных кристаллов на полупроводниковой пластине создается карта (далее – КПП). Она позволяет сравнить дефекты кристаллов с соседними и определить, сколько кристаллов визуально имеют дефекты, используя изображение карты [53]. КПП также называются картами бинов кристаллов, когда кристаллы представлены в бинарной форме, где дефектные кристаллы имеют логическое значение 1, а годные – логическое значение 0.

Обычно встречается три типа дефектов кристаллов: случайные дефекты, систематические дефекты и смешанные дефекты. Случайные дефекты возникают из-за случайных факторов производственной среды, таких как частицы в чистой комнате; они могут быть случайным образом разбросаны по всей поверхности кристалла. Такие дефекты являются долгосрочными и дорогими для исправления. С другой стороны, систематические дефекты обычно возникают из-за определяемой причины, такой как человеческая ошибка, частицы от оборудования или химическое загрязнение [54, 55]. Систематические дефекты обычно следуют определенному шаблону, например:

1. центральный шаблон с дефектами, сосредоточенными в центре КПП, обычно возникает при наличии ошибок химико-механической обработки;
2. шаблон кольца появляется вдоль края кристалла, когда происходит несоответствие между слоями; большинство дефектных кристаллов расположены вдоль края пластины и охватывает более четырех пятых ее периметра;
3. шаблон царапин (также известный как линейный шаблон), вызван агломерированными частицами, где большинство дефектных кристаллов на кристалле образуют линию, и длина линии составляет пять или более кристаллов;
4. шаблон выстрела вызван проблемой, когда одновременно тестируются несколько кристаллов для сокращения затрат на тестирование;
5. шаблон зоны в определенном месте на кристалле вызван неравномерной очисткой, где большинство дефектных кристаллов на кристалле имеют произвольную форму, а расстояние между центром кристалла и центром региона составляет более четырех кристаллов;
6. шаблон шахматной доски, генерируется из-за несоответствия маски во время литографического процесса.

Смешанные дефекты состоят из случайных дефектов и систематических дефектов на одной карте. Большинство КПП относятся к этому типу. Поэтому

важно отделять случайные и систематические дефекты на КПП, поскольку это может выявить проблемы. Поэтому важно обнаруживать и классифицировать эти дефекты, чтобы идентифицировать их причины и принимать соответствующие меры для повышения качества и выхода [51, 54, 56, 57].

После изготовления кристаллов на полупроводниковой пластине дефектные кристаллы могут быть обнаружены опытным инспектором. Однако, поскольку этот процесс может быть дорогостоящим и трудоемким, многие исследователи оценивали качество кристаллов с использованием АОИ [58]. Большинство АОИ, используемых в полупроводниковых пластинах, не требуют создания системы захвата изображения (например, камеры изображения и установки освещения). КПП создается на основе сканирования зондом. Однако некоторые исследования все же рассматривают создание системы захвата изображения для целей инспекции полупроводниковых пластин. Дефекты по результатам исследований обобщены и проанализированы согласно вышеописанной классификации:

1. кольцо, царапина, зона [59];
2. кольцо, царапина, случайные и новые дефекты [60];
3. систематические и случайные дефекты [61];
4. кольцо, царапина [62];
5. центральный, кольцо, царапины, случайные [63, 64];
6. множественные зоны, множественные царапины, смешанный узор кольца и зоны и смешанный узор кольца и царапины [65, 66];
7. царапины, деформации и локальные сбои [67, 68];
8. шахматная доска, кольцо, правый нижний край, составные и случайные дефекты [54];
9. кольцо, повторяющиеся и смешанные дефекты [69];
10. царапины, центр и край [70];
11. четверть кольца, вверх и влево, четверть кольца, вверх и вправо, краевые эффекты, кольцевые эффекты, полукольцо, вверх [71];
12. кольцо, полукольцо, выстрел и полукольцо [72];
13. криволинейные, кольцевые [73-78];
14. линейные и круговые дефекты [79];
15. центральный, полукольцо [80, 81];
16. случайный, кольцевой [82];
17. выстрел, кольцо, центральный [56];
18. центральный, кольцо [57, 49];
19. несколько шаблонов, включая кольцевые, шахматные и пять радиальных зон [83];
20. случайные, систематические и смешанные дефекты [84].

### **3.3 Дефекты монтажа изделий электронной техники на печатных платах**

В последние годы требования к размещению ИЭТ

на ПП с более высокой плотностью возросли [85]. ИЭТ собираются на автоматических сборочных линиях, которые применяются в производстве массовых РЭА, таких как телевизоры, мобильные телефоны, цифровые камеры и т. д. Основные этапы монтажа следующие: нанесение паяльной пасты на ПП, размещение ИЭТ на ПП в правильных позициях и помещением ПП в печь для пайки ИЭТ [86]. В процессах такого производства могут возникать различные дефекты на этапах пайки и размещения ИЭТ.

Например, на этапе размещения могут возникать случаи отсутствующих, неправильных или дублированных ИЭТ. Что касается возможных дефектов пайки, большинство из них происходит после этапа повторной пайки, такие как дефекты пайки интегральных схем (далее – ИС) (псевдосоединение, избыток припоя, недостаток припоя, смещение припоя и мостиковые дефекты) и дефекты других ИЭТ (боковое, приподнятые компоненты, псевдосоединение, избыток припоя, недостаток припоя, смещение) [87].

Эти дефекты могут серьезно повлиять на функциональность узла РЭА. Например, отсутствие пайки или недостаточная пайка могут вызвать разомкнутое соединение, и, таким образом, общая функциональность цепи будет нарушена. Избыточная пайка может привести к мостикам с другими точками пайки, что может вызвать короткое замыкание. Псевдопайка считается сложным дефектом для обнаружения. Этот дефект возникает, когда места пайки кажутся соединенными. Однако, фактически соединения нет, что может привести к разомкнутому контакту. Псевдосоединение образуется, когда недостаточно тепла применяется для полного расплавления припоя.

Электрические тесты и ручная инспекция все еще используются; однако введение технологии поверхностного монтажа (SMT – Surface Mount Technology) в процесс сборки на ПП увеличивает вероятность возникновения ранее упомянутых дефектов и подчеркивает необходимость системы АОИ. На самом деле было доказано, что около 80 % дефектов при ручной инспекции пропускаются [88]. Поэтому многие исследователи изучали различные типы дефектов монтажа на ПП с использованием методов АОИ. Следовательно, АОИ для ПП была одной из начальных тем.

Чин и др. в [89] могут считаться одними из первых исследователей, использующих АОИ на ПП. Большинство опубликованных результатов исследований описывают дефекты монтажа ИЭТ на ПП с использованием АОИ, рассматривали паяные соединения и размещение ИЭТ с использованием SMT.

Имеются исследования, рассматривающие АОИ маркировки ИЭТ. При этом неправильная маркировка или положение при монтаже приведут к неправильному размещению ИЭТ на ПП [90].

Инспекция должна выявлять ошибки печати маркировки, такие как неразборчивые символы, отсут-

ствующие символы и перевернутая печать, которые часто происходят из-за неисправности оборудования [91, 92]. Типичная промышленная версия АОИ должна проверять около 7 тысяч ИЭТ в час, что подтверждает необходимость системы АОИ для выполнения задачи инспекции [91].

Когда большинство исследователей сосредоточились на инспекции паяных соединений SMT, Фонсека и др. в [93] исследовали паяные соединения технологии установки через отверстия (THT – Through-Hole Technology). Когда выводы изделий ЭКБ вставляются в сквозные отверстия в ПП и припаиваются к контактным площадкам на обратной или лицевой стороне. Паяные соединения в THT имеют сильно отражающие металлические поверхности и, следовательно, являются очень сложным объектом для типичных АОИ [94].

Фонсека и др. провели четыре исследования для изучения дефектов пайки THT. Три из этих исследований [95, 96] были сосредоточены на извлечении признаков и создании цветowych моделей для обнаружения площадок и паяных соединений. В то время как четвертое исследование [97] было продолжением, которое сосредоточилось на автоматической классификации качества пайки для мостиков, пустот в области сверления, пустот в области площадки и избыточной пайки на паяном соединении. По результатам их исследований, инспекция паяных соединений THT должна проводиться в течение 6 секунд, чтобы соответствовать требованиям производства. Однако АОИ требует 8 секунд, что может повлиять на возможность быть реализованной в задаче АОИ при производстве ИЭТ.

Соединительные контакты, расположенные на краю ПП, которые позволяют подключать соседние ПП, были одной из проблем АОИ в исследованиях. Они могут быть изготовлены из золота в сочетании с никелем или медными материалами. Как и все другие части ПП, золотые соединительные контакты подвержены различным дефектам.

Цзян и др. в [98] рассмотрели 4 типа дефектов золотых соединительных контактов: потёртости, загрязнение оловом, оголённый никель и дефекты нанесения покрытия.

Цзян и др. в [99] исследовали покрытые оловом золотые соединительные контакты для АОИ. Цай и др. в [100] учитывали такие дефекты, как микропоры, оголение меди, а также заусенцы и шероховатости на поверхностях таких контактов ПП.

Подобным образом многие исследования рассматривали дефекты проводов ПП – это медные провода на ПП, которые отвечают за прохождение электрического тока. Ибрагим и Аль-Атас в [101] провели одно из исследований, в котором рассмотрели эти типы дефектов. В своём исследовании они разделили дефекты, возникающие в этой области на две категории: функциональные и оптические дефекты.

Функциональные дефекты серьезно повреждают ПП, что означает, что ПП не функционирует должным образом. Визуальные дефекты не влияют на функциональность ПП в краткосрочной перспективе.

Однако в долгосрочной перспективе ПП не будет работать эффективно, так как неправильная форма ее дорожек может привести к потенциальным дефектам. В этом исследовании были рассмотрены четырнадцать типов функциональных и визуальных дефектов: отказ, короткое замыкание, малое отверстие, отверстие неправильного размера, разомкнутая цепь, малое расстояние, ложная медь, отсутствующий проводник, отсутствующее отверстие,

Подобно ПП, ИС в шариковых корпусах (BGA – Ball Grid Arrays) являются видом SMT, используемым в РЭА для монтажа ИС. Шарик ИС называется паяным, которые расположены в корпусе в сетчатом узоре. Корпуса BGA обычно размещаются на подобной сеточной структуре медных площадок на ПП. В отличие от традиционного метода монтажа, BGA использует нижнюю поверхность, а не периметр ИС для соединения. Таким образом, BGA предоставляет возможность увеличить количество контактов, сократить средние длины выводов и улучшить высокоскоростные характеристики. Однако поскольку размер паяных шариков уменьшается, а расстояние между паяными шариками сокращается, существует более высокая потребность в АОИ для размещения компонентов [102]. Поэтому многие исследователи рассмотрели возможность инспекции возникающих дефектов, которые могут возникнуть в процессе производства и размещения BGA. Ниже представлены обобщения результатов исследований, которые использовали систему АОИ для обнаружения дефектов в зависимости от элементов ПП и типов дефектов:

1. отсутствует припой [103-109];
2. недостаточный слой припоя [88, 104-118];
3. избыток припоя [88, 93, 103-116];
4. перемычки [103, 105, 106, 109, 117, 118];
5. дефекты паяльной пасты [119, 120, 121];
6. отсутствующее изделие на ПП [86, 122, 123, 124-126];
7. не то изделие [117, 118, 122, 125];
8. смещенное или повернутое изделие [103, 105, 106, 117, 118, 124, 125];
9. изделие при монтаже приподнято, неправильное размещение ИЭТ в вертикальной плоскости [103, 105, 109, 117, 118, 125];
10. неправильное размещение ИЭТ в горизонтальной плоскости [127-131];
11. дефекты поверхности ИС [132];
12. дефекты ИЭТ в части проверки общего качества перед монтажом на ПП [25, 86, 133];
13. дефекты сквозных отверстий [134, 135];
14. следы технологических процессов [101, 136-138];
15. дефекты маркировки [90-92, 126];

16. микродефекты [27, 138];
17. ошибки травления [139];
18. дефекты клея [126];
19. выравнивание флюсовой резки и проверка положения ПП [25, 140];
20. общие дефекты ПП [133, 141-143];
21. дефекты монтажа BGA [85, 102, 133, 144-152].

### **3.4 Другие дефекты**

В предыдущих разделах рассматривались и обобщены результаты исследований по наиболее распространенным компонентам, подлежащим АОИ. Однако другие исследователи изучили определенные дефекты ЭКБ, которые не были широко исследованы.

Например, Ко и др. в [153] проверили четыре типа дефектов в модуле камеры на основе комплементарной металлооксидной полупроводниковой технологии (CMOS – Complementary Metal-Oxide-Semiconductor), именуемые черным и белым дефектом, тусклым дефектом, цветным дефектом и линиями дефектов. Их метод достиг общей точности инспекции 99,6 %. Однако для каждого типа инспектируемого дефекта они выбрали разные алгоритмы инспекции, что снижает эффективность их метода в обработке новых дефектов и увеличивают сложность и временные затраты. Более того, частицы в диапазоне 2-3 пикселя не были точно обнаружены.

Инфракрасный фильтр в CMOS в зарядосвязанных устройствах (CCD – Charge-Coupled Device) камер также является одним из исследованных компонентов в исследованиях. Инфракрасный фильтр предназначен для отражения или блокировки среднеинфракрасных длин волн, пропуская видимый свет. Он применяется во всех видах цветных камер и видеоустройств, чтобы предотвратить проникновение инфракрасного света на чувствительный элемент изображения с целью запечатлеть изображения как можно ближе к тем, которые воспринимает человеческий глаз. Дефекты в этой части могут повлиять на качество изображения через феномен хроматической аберрации и избыточных объектов в изображении. Поэтому Лю и Ю в [154] предложили систему АОИ для исследования трех типов распространенных поверхностных дефектов в инфракрасном фильтре: пятно, царапина и трещина на краю. Пятно возникает из-за пыли в воздухе или контакта с грязными объектами. Процесс очистки и тестирования изображения с применением инфракрасного фильтра привел к выявлению царапин на поверхности в результате контакта с острыми предметами, такими как пинцеты.

Лин в [155, 156] рассматривали инспекцию дефектов «рябь» в поверхностном барьерном слое чипов керамических конденсаторов. Существуют трудности в автоматической инспекции дефектов «рябь» из-за их полупрозрачного и неструктурированного внешнего вида, постепенных изменений уровня их интенсивности и низкой контрастности интенсивности между их поверхностями и грубой внешней ча-



стью чипа. Чтобы преодолеть эти трудности, образец изображения необходимо преобразовать в частотную область, чтобы захватить особенности дефектов.

Сун и др. в [157] рассматривали инспекцию четырех типов дефектов термopедохранителей – также известных как терморазмыкатели, которые являются значимыми компонентами в РЭА. Они предотвращают перегревание или перегрузку цепей. Хотя предохранители в целом позволяют прохождение тока, они могут разомкнуться, чтобы отключить питание от РЭА в качестве меры безопасности. Четыре проверенных дефекта в исследованиях являются дефектами на краях, черной точкой, малой головкой и обломками. Дефект на краях проявляется как зазубрина в области внешнего кольца корпуса предохранителя, он в основном возникает из-за использования неправильного материала для контактов. Этот дефект очень трудно обнаружить человеку-инспектору даже с помощью микроскопа. Дефект черной точки в основном вызван наличием посторонних материалов (например, грязи или пыли) во время сборки термopедохранителей. Дефекты малой головки возникают, когда во время процесса штамповки выводов не обеспечивается достаточная сила, что приводит к уменьшению диаметра головки термopедохранителя. Дефекты обломков возникают из-за откола стенки корпуса во время процесса гальванопластики.

Таким образом, обобщены различные дефекты ИЭТ, исследованные с помощью АОИ:

1. дефект черного и белого, дефект затуманивания, дефект цвета и дефекты линий в процессе производства модуля компактной камеры CMOS [153];
2. шесть основных дефектов сенсоров камер: сплошная белая точка, серые точки, ореол из белых пятен, дефект полосы, дефект люминесцентного излучения и сплошные белые пятна [158, 159];
3. дефекты, обнаруженные с помощью инфракрасного фильтра: такие как пятна, царапины и трещины на краю сенсора видеокамеры [154];
4. поверхностные дефекты в микромногослойных несферических линзовых модулях CMOS, такие как яркие пятна, темные пятна, царапины, инородные материалы и отверстия [154];
5. дефекты компактных камер, такие как пятна, светлые точки, царапины, ямки [160];
6. дефекты ряби в сколах поверхностного барьерного слоя керамических конденсаторов [155, 156];
7. мелкие поверхностные дефекты в сколах поверхностного барьерного слоя пассивных электронных компонентов [161];
8. поверхностные дефекты пленочных конденсаторов [162];
9. дефекты заусенцев, бликовых точек, малень-

ких головок и флажков термopедохранителей [162];

10. наличие пятен на паяных соединениях [163-164].

### Заключение

АОИ является важным шагом для минимизации дефектов продукции в различных отраслях и считается одним из самых простых и широко используемых подходов к обеспечению качества. Область АОИ обширна, поскольку охватывает широкий спектр тем, начиная от аппаратных решений для захвата изображений и заканчивая алгоритмами инспекции и принятия решений. По этой причине исследовательские возможности в этой области широко открыты и имеют потенциал для улучшения в ближайшем будущем.

Многие производители электроники интегрируют системы АОИ в свои производственные процессы, чтобы избежать дополнительных затрат на человеческих инспекторов и возможных ошибок. Большинство из этих производителей расположено в Азии.

В этом исследовании мы рассмотрели и проанализировали более 160 статей, которые описывают результаты исследований, в которых использованы системы АОИ для исследования различных дефектов в ИЭТ. В ходе нашего поиска соответствующих статей для обзора мы обнаружили, что системы АОИ широко используются в трех основных приложениях: дефектоскопия светодиодов, полупроводниковых пластин, ПП. Для каждого проверяемого компонента рассматривались различные типы дефектов. Дефекты полупроводниковых пластин обычно проверяются в соответствии с их отличительными дефектами. Дефекты пайки обычно проявляются в ПП. С помощью АОИ в LED исследуется большее разнообразие дефектов. Также в этом обзоре были рассмотрены другие различные ИЭТ, такие как модули камер изображения, тепловые предохранители и пассивные электронные компоненты.

АОИ по-прежнему сталкиваются с некоторыми ограничениями, требующими дальнейших улучшений. Например, чаще всего они ограничены в инспекции поверхностных дефектов. Кроме того, углы обзора для проверяемых компонентов обычно фиксированы на определенных углах, что может привести к пропуску некоторых частей.

Среди исследуемых ИЭТ нет корпусов для ЭКБ, которые играют существенную роль в защите элементов ЭКБ от внешних воздействий, связи с внешними цепями, монтаже ЭКБ на основания. Корпус для ЭКБ является сложным изделием и обеспечение его качества играет важную роль в функционировании ЭКБ. Данные изделия являются предметом исследований авторов статьи и создания соответствующих АОИ.

## Литература

1. Mohammad Abidur Rahman, Md Farhan Shahrior, Kamran Iqbal, Ali Abushaiba «Enabling Intelligent Industrial Automation. A Review of Machine Learning Applications with Digital Twin and Edge AI Integration. Engineering Industrial and Manufacturing Engineering», 2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.preprints.org/manuscript/202506.2041/v1> (дата обращения: 07.06.2025).
2. Sasan Farhadi, Samuele Tatullo, Francesco Ferrian «Comparative analysis of ensemble learning techniques for enhanced fatigue life prediction». Scientific Reports volume 15, Article number, 2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.preprints.org/manuscript/202506.2041/v1> (дата обращения: 05.06.2025).
3. Shuping Wang, Shuai Chen, Haitao Wang, Xianming Yang «Internal defect detection model based on laser ultrasonic signal decomposition and deep learning». Measurement, Volume 242, id.116194, 2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2025Meas..24216194W/abstract> (дата обращения: 06.06.2025).
4. Boris I, Kseniia Barashok, Jaesun Lee «Machine learning techniques in ultrasonics-based defect detection and material characterization: A comprehensive review». Advances in Mechanical Engineering, 2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1177/16878132251347> (дата обращения: 06.06.2025).
5. Sudip Saha, Saurabh Vidhate. Eddy Current Testing Market Analysis – Size, Share, and Forecast 2025 to 2035. Reports Eddy Current Testing Market, 2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/eddy-current-testing-market> (дата обращения: 06.06.2025).
6. 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» // Электронные компоненты – 2025 - № 5. С. 6-15.
7. Salaheddine Harzallah, Benhadda Nabil «Non-destructive testing by eddy current sensor for crack orientation detection using HHO optimizer by differential probe». 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136550> (дата обращения: 05.06.2025).
8. Sarah Lee «Eddy Current Testing: A Comprehensive Guide. Unlocking the Secrets of Material Failure Analysis with Eddy Current Testing Techniques». Number Analytics, 2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.numberanalytics.com/blog/ultimate-guide-to-eddy-current-testing> (дата обращения: 06.06.2025).
9. Qiang Wu, Kang Dong, Xunpeng Qin, Zeqi Hu, Xiaochen Xiong «Magnetic particle inspection: Status, advances, and challenges - Demands for automatic non-destructive testing». NDT & E International. Volume 143, 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963869523002451> (дата обращения: 07.06.2025).
10. P.Aryan, S.Sampath and H.Sohn «An overview of non-destructive testing methods for integrated circuit packaging inspection,» *Sensors*, vol. 18, no. 7, p. 1981, Jun. 2018.
11. S.-C. Horng, F.-Y. Yang and S.-S. Lin «Applying PSO and OCBA to minimize the overkills and re-probes in wafer probe testing», *IEEE Trans. Semicond. Manuf.*, vol. 25, no. 3, pp. 531–540, Aug. 2012.
12. M.-J.-J. Wang and C.-L. Huang «Evaluating the eye fatigue problem in wafer inspection», *IEEE Trans. Semicond. Manuf.*, vol. 17, no. 3, pp. 444–447, Aug. 2004.
13. R.T. Chin and C.A. Harlow «Automated visual inspection: A survey», *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. PAMI-4, no. 6, pp. 557–573, Nov. 1982.
14. J.Chen and X.Ran, «Deep learning with edge computing: A review» *Proc. IEEE*, vol. 107, no. 8, pp. 1655–1674, Aug. 2019.
15. R. Huang, J. Gu, X. Sun, Y. Hou and S. Uddin «A rapid recognition method for electronic components based on the improved YOLO-V3 network» *Electronics*, vol. 8, no. 8, p. 825, 2019.
16. F. Timm and E. Barth «Novelty detection for the inspection of light-emitting diodes» *Expert Syst. Appl.*, vol. 39, no. 3, pp. 3413–3422, 2012.
17. Y.-J. Cha, W. Choi and O. Büyüköztürk «Deep learning-based crack damage detection using convolutional neural networks» *Comput.-Aided Civil Infrastruct. Eng.*, vol. 32, no. 5, pp. 361–378, May 2017.
18. T. Brosnan and D.-W. Sun «Improving quality inspection of food products by computer vision - A review» *J. Food Eng.*, vol. 61, no. 1, pp. 3–16, Jan. 2004.
19. A. Kumar «Neural network based detection of local textile defects» *Pattern Recognit.*, vol. 36, no. 7, pp. 1645–1659, Jul. 2003.
20. Z. Xue-Wu, D. Yan-Qiong, L. Yan-Yun, S. Ai-Ye and L. Rui-Yu «A vision inspection system for the surface defects of strongly reflected metal based on multi-class SVM» *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 5, pp. 5930–5939, May 2011.
21. J. Ker, L. Wang, J. Rao and T. Lim «Deep learning applications in medical image analysis», *IEEE Access*, vol. 6, pp. 9375–9379, 2017.
22. S. Lv, H. Kim, B. Zheng and H. Jin «A review of data mining with big data towards its applications in the electronics industry» *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 4, pp. 1–34, 2018.

23. «Consumer Electronics Market Size, Share, & Trends Analysis Report By Sales Channel (Online, Offline), By Product (Smartphones, Tablets, Desktops, Laptops/Notebooks, Digital Cameras), By Region, And Segment Forecasts, 2025 – 2030». Grand View Research 2018-2030, 180 p.
24. M. Liukkonen, E. Havia and Y. Hiltunen «Computational intelligence in mass soldering of electronics - A survey» *Expert Syst. Appl.*, vol. 39, no. 10, pp. 9928–9937, Aug. 2012.
25. D.-M. Tsai and Y.-C. Hsieh «Machine vision-based positioning and inspection using expectation-maximization technique», *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 66, no. 11, pp. 2858–2868, Nov. 2017.
26. S. Gebus and K. Leiviskä «Knowledge acquisition for decision support systems on an electronic assembly line» *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 1, pp. 93–101, Jan. 2009.
27. Y. Xie, Y. Ye, J. Zhang, L. Liu and L. Liu «A physics-based defects model and inspection algorithm for automatic visual inspection» *Opt. Lasers Eng.*, vol. 52, pp. 218–223, Jan. 2014.
28. R. Carnell, N. Mapa, I. Pang and P. Sakpal «Asia and the global tech slump: The chips are down» ING, Amsterdam, The Netherlands, Tech. Rep., 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://think.ing.com/reports/asia-and-the-global-tech-slump-the-chips-are-down> (дата обращения: 05.06.2025).
29. D.-B. Perng, H.-W. Liu and S.-H. Chen «A vision-based LED defect auto-recognition system» *Nondestruct. Test. Eval.*, vol. 29, no. 4, pp. 315–331, Oct. 2014.
30. «Energy Savings Potential of Solid-State Lighting in General Illumination Applications», U.S. Dept. Energy, Washington, DC, USA, 2012.
31. C.-C. Hsu and M.-S. Chen «Intelligent maintenance prediction system for LED wafer testing machine» *J. Intell. Manuf.*, vol. 27, no. 2, pp. 335–342, Apr. 2016.
32. Y.-S. Chiu and H.-D. Lin «An innovative blemish detection system for curved LED lenses» *Expert Syst. Appl.*, vol. 40, no. 2, pp. 471–479, Feb. 2013.
33. M.H.A. Fadzil and C.J. Weng, «LED cosmetic flaw vision inspection system» *Pattern Anal. Appl.*, vol. 1, no. 1, pp. 62–70, Mar. 1998.
34. H.-D. Lin «Automated defect inspection of light-emitting diode chips using neural network and statistical approaches» *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 1, pp. 219–226, Jan. 2009.
35. D.-B. Perng, H.-W. Liu and C.-C. Chang «Automated SMD LED inspection using machine vision» *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 57, nos. 9–12, pp. 1065–1077, Dec. 2011.
36. C.-F.-J. Kuo, T.-Y. Fang, C.-L. Lee and H.-C. Wu «Automated optical inspection system for surface mount device light emitting diodes» *J. Intell. Manuf.*, vol. 30, no. 2, pp. 641–655, Feb. 2019.
37. M. Bürmen, F. Pernuš and B. Likar «Automated optical quality inspection of light emitting diodes» *Meas. Sci. Technol.*, vol. 17, no. 6, pp. 1372–1378, Jun. 2006.
38. C.-Y. Chang, C.-H. Li, S.-Y. Lin and M. Jeng «Application of two hop- field neural networks for automatic four-element LED inspection», *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. C, Appl. Rev.*, vol. 39, no. 3, pp. 352–365, May 2009.
39. F. Timm and E. Barth «Novelty detection for the inspection of light-emitting diodes» *Expert Syst. Appl.*, vol. 39, no. 3, pp. 3413–3422, 2012.
40. C.-F.-J. Kuo, C.-T.-M. Hsu, Z.-X. Liu and H.-C. Wu «Automatic inspection system of LED chip using two-stages back-propagation neural network» *J. Intell. Manuf.*, vol. 25, no. 6, pp. 1235–1243, Dec. 2014.
41. C.-F.-J. Kuo, C.-P. Tung and W.-H. Weng «Applying the support vector machine with optimal parameter design into an automatic inspection system for classifying micro-defects on surfaces of light-emitting diode chips» *J. Intell. Manuf.*, vol. 30, no. 2, pp. 727–741, Feb. 2019.
42. H. Lin, B. Li, X. Wang, Y. Shu and S. Niu «Automated defect inspection of LED chip using deep convolutional neural network» *J. Intell. Manuf.*, vol. 30, no. 6, pp. 2525–2534, Aug. 2019.
43. F. Zhong, S. He and B. Li «Blob analyzation-based template matching algorithm for LED chip localization» *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 93, nos. 1–4, pp. 55–63, Oct. 2017.
44. H.-D. Lin and S. W. Chiu «Flaw detection of domed surfaces in LED packages by machine vision system» *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 12, pp. 15208–15216, Nov. 2011.
45. R.-F. Fung, C.-Y. Yang and C.-T. Lai «Graphic supervisory control of an automatic optical inspection for LED properties» *Measurement*, vol. 44, no. 8, pp. 1349–1360, Oct. 2011.
46. C.-Y. Chang, C.-H. Li, Y.-C. Chang and M. Jeng «Wafer defect inspection by neural analysis of region features» *J. Intell. Manuf.*, vol. 22, no. 6, pp. 953–964, Dec. 2011.
47. H.D. Lin, G.C. Lin, C.Y. Chung and W.T. Lin «Wavelet-based neural network and statistical approaches applied to automated visual inspection of LED chips» *J. Sci. Ind. Res.*, vol. 67, no. 6, pp. 412–420, 2008.
48. D.-M. Tsai, I.-Y. Chiang and Y.-H. Tsai «A shift-tolerant dissimilarity measure for surface defect detection», *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 8, no. 1, pp. 128–137, Feb. 2012.
49. M.P.-L. Ooi, H.K. Sok, Y.C. Kuang, S. Demidenko and C. Chan «Defect cluster recognition system for fabricated semiconductor wafers» *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 26, no. 3, pp. 1029–1043, Mar. 2013.



50. V. Perminov, V. Putrolaynen, M. Belyaev, E. Pasko and K. Balashkov «Automated image analysis for evaluation of wafer backside chipping» *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 99, nos. 5–8, pp. 2015–2023, Nov. 2018.
51. J. Kim, Y. Lee and H. Kim «Detection and clustering of mixed-type defect patterns in wafer bin maps» *IIE Trans.*, vol. 50, no. 2, pp. 99–111, Feb. 2018.
52. C.H. Jin, H.J. Na, M. Piao, G. Pok and K.H. Ryu «A novel DBSCAN - based defect pattern detection and classification framework for wafer bin map», *IEEE Trans. Semicond. Manuf.*, vol. 32, no. 3, pp. 286–292, Aug. 2019.
53. F. Adly, P.D. Yoo, S. Muhaidat, Y. Al-Hammadi, U. Lee and M. Ismail «Randomized general regression network for identification of defect patterns in semiconductor wafer maps», *IEEE Trans. Semicond. Manuf.*, vol. 28, no. 2, pp. 145–152, May 2015.
54. S.-C. Hsu and C.-F. Chien «Hybrid data mining approach for pattern extraction from wafer bin map to improve yield in semiconductor manufacturing» *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 107, no. 1, pp. 88–103, May 2007.
55. M. Saqlain, B. Jargalsaikhan and J.Y. Lee «A voting ensemble classifier for wafer map defect patterns identification in semiconductor manufacturing», *IEEE Trans. Semicond. Manuf.*, vol. 32, no. 2, pp. 171–182, May 2019.
56. C.-W. Chang, T.-M. Chao, J.-T. Horng, C.-F. Lu and R.-H. Yeh «Development pattern recognition model for the classification of circuit probe wafer maps on semiconductors», *IEEE Trans. Compon., Packag., Manuf. Technol.*, vol. 2, no. 12, pp. 2089–2097, Dec. 2012.
57. M.P.-L. Ooi, E.K.J. Joo, Y.C. Kuang, S. Demidenko, L. Kleeman and C.W.K. Chan «Getting more from the semiconductor test: Data mining with defect-cluster extraction», *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 60, no. 10, pp. 3300–3317, Oct. 2011.
58. J. Yu and X. Lu «Wafer map defect detection and recognition using joint local and nonlocal linear discriminant analysis», *IEEE Trans. Semicond. Manuf.*, vol. 29, no. 1, pp. 33–43, Feb. 2016.
59. H.-W. Hsieh and F.-L. Chen «Recognition of defect spatial patterns in semiconductor fabrication» *Int. J. Prod. Res.*, vol. 42, no. 19, pp. 4153–4172, Oct. 2004.
60. F.-L. Chen and S.-F. Liu «A neural-network approach to recognize defect spatial pattern in semiconductor fabrication», *IEEE Trans. Semicond. Manuf.*, vol. 13, no. 3, pp. 366–373, Aug. 2000.
61. S.F. Liu, F.L. Chen and W.B. Lu «Wafer bin map recognition using a neural network approach» *Int. J. Prod. Res.*, vol. 40, no. 10, pp. 2207–2223, Jan. 2002.
62. F.D. Palma, G.D. Nicolao, G. Miraglia, E. Pasquinetti and F. Piccinini «Unsupervised spatial pattern classification of electrical-wafer-sorting maps in semiconductor manufacturing» *Pattern Recognit. Lett.*, vol. 26, no. 12, pp. 1857–1865, Sep. 2005.
63. C.-H. Wang, S.-J. Wang and W.-D. Lee «Automatic identification of spatial defect patterns for semiconductor manufacturing» *Int. J. Prod. Res.*, vol. 44, no. 23, pp. 5169–5185, Dec. 2006.
64. C.-H. Wang «Recognition of semiconductor defect patterns using spatial filtering and spectral clustering» *Expert Syst. Appl.*, vol. 34, no. 3, pp. 1914–1923, Apr. 2008.
65. C.-H. Wang, W. Kuo and H. Bensmail «Detection and classification of defect patterns on semiconductor wafers» *IIE Trans.*, vol. 38, no. 12, pp. 1059–1068, Dec. 2006.
66. C.-H. Wang «Separation of composite defect patterns on wafer bin map using support vector clustering» *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 2, pp. 2554–2561, Mar. 2009.
67. C.-J. Huang «Clustered defect detection of high quality chips using self-supervised multilayer perceptron» *Expert Syst. Appl.*, vol. 33, no. 4, pp. 996–1003, Nov. 2007.
68. C.-J. Huang, Y.-J. Chen, C.-F. Wu and Y.-A. Huang «Application of neural networks and genetic algorithms to the screening for high quality chips» *Appl. Soft Comput.*, vol. 9, no. 2, pp. 824–832, Mar. 2009.
69. Y.-S. Jeong, S.-J. Kim and M. K. Jeong «Automatic identification of defect patterns in semiconductor wafer maps using spatial correlogram and dynamic time warping», *IEEE Trans. Semicond. Manuf.*, vol. 21, no. 4, pp. 625–637, Nov. 2008.
70. K.P. White, B. Kundu and C.M. Mastrangelo «Classification of defect clusters on semiconductor wafers via the Hough transformation», *IEEE Trans. Semicond. Manuf.*, vol. 21, no. 2, pp. 272–277, May 2008.
71. T.-S. Li and C.-L. Huang «Defect spatial pattern recognition using a hybrid SOM-SVM approach in semiconductor manufacturing» *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 1, pp. 374–385, Jan. 2009.
72. J. Chen, C.-J. Hsu and C.-C. Chen «A self-growing hidden Markov tree for wafer map inspection» *J. Process Control*, vol. 19, no. 2, pp. 261–271, Feb. 2009.
73. J.Y. Hwang and W. Kuo «Model-based clustering for integrated circuit yield enhancement» *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 178, no. 1, pp. 143–153, Apr. 2007.
74. T. Yuan and W. Kuo «A model-based clustering approach to the recognition of the spatial defect patterns produced during semiconductor fabrication» *IIE Trans.*, vol. 40, no. 2, pp. 93–101, Nov. 2007.
75. T. Yuan and W. Kuo «Spatial defect pattern recognition on semiconductor wafers using model-based clustering and Bayesian inference» *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 190, no. 1, pp. 228–240, Oct. 2008.



76. T. Yuan, S.J. Bae and J.I. Park «Bayesian spatial defect pattern recognition in semiconductor fabrication using support vector clustering» *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 51, nos. 5–8, pp. 671–683, Nov. 2010. – 80
77. T. Czimmermann, G. Ciuti, M. Milazzo, M. Chiurazzi, S. Roccella, C.M. Oddo and P. Dario «Visual-based defect detection and classification approaches for industrial applications - A survey» *Sensors*, vol. 20, no. 5, pp. 1–25, 2020.
78. T. Yuan, W. Kuo and S. J. Bae «Detection of spatial defect patterns generated in semiconductor fabrication processes», *IEEE Trans. Semicond. Manuf.*, vol. 24, no. 3, pp. 392–403, Aug. 2011.
79. Q. Zhou, L. Zeng and S. Zhou «Statistical detection of defect patterns using Hough transform», *IEEE Trans. Semicond. Manuf.*, vol. 23, no. 3, pp. 370–380, Aug. 2010.
80. J.-S. Lin «Constructing a yield model for integrated circuits based on a novel fuzzy variable of clustered defect pattern» *Expert Syst. Appl.*, vol. 39, no. 3, pp. 2856–2864, Feb. 2012.
81. L.-C. Chao and L.-I. Tong «Wafer defect pattern recognition by multi-class support vector machines by using a novel defect cluster index» *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 6, pp. 10158–10167, Aug. 2009.
82. G. Choi, S.-H. Kim, C. Ha and S.J. Bae «Multi-step ART1 algorithm for recognition of defect patterns on semiconductor wafers» *Int. J. Prod. Res.*, vol. 50, no. 12, pp. 3274–3287, Jun. 2012.
83. C.-F. Chien, S.-C. Hsu and Y.-J. Chen «A system for online detection and classification of wafer bin map defect patterns for manufacturing intelligence» *Int. J. Prod. Res.*, vol. 51, no. 8, pp. 2324–2338, Apr. 2013.
84. C.-W. Liu and C.-F. Chien «An intelligent system for wafer bin map defect diagnosis: An empirical study for semiconductor manufacturing» *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 26, nos. 5–6, pp. 1479–1486, May 2013.
85. H. Gao, W. Jin, X. Yang and O. Kaynak «A line-based-clustering approach for ball grid array component inspection in surface-mount technology», *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 64, no. 4, pp. 3030–3038, Apr. 2017.
86. M.H. Annaby, Y.M. Fouda and M.A. Rushdi «Improved normalized cross-correlation for defect detection in printed-circuit boards», *IEEE Trans. Semicond. Manuf.*, vol. 32, no. 2, pp. 199–211, May 2019.
87. W. Dai, A. Mujeeb, M. Erdt and A. Sourin «Soldering defect detection in automatic optical inspection» *Adv. Eng. Informat.*, vol. 43, Jan. 2020, Art. no. 101004.
88. G. Acciani, G. Brunetti and G. Fornarelli «Application of neural networks in optical inspection and classification of solder joints in surface mount technology», *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 2, no. 3, pp. 200–209, Aug. 2006.
89. R.T. Chin, C.A. Harlow and S. J. Dwyer III «Automatic visual inspection of printed circuit boards» *Proc. SPIE*, vol. 155, pp. 199–213, Jan. 1979.
90. B.C. Jiang, S.-L. Tasi and C.-C. Wang «Machine vision-based gray relational theory applied to IC marking inspection», *IEEE Trans. Semicond. Manuf.*, vol. 15, no. 4, pp. 531–539, Nov. 2002.
91. R. Nagarajan, S. Yaacob, P. Pandian, M. Karthigayan, S.H. Amin and M. Khalid «A real time marking inspection scheme for semiconductor industries» *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 34, nos. 9–10, pp. 926–932, Sep. 2007.
92. F.-H. Hsu and C.-A. Shen «The design and implementation of an embedded real-time automated IC marking inspection system», *IEEE Trans. Semicond. Manuf.*, vol. 32, no. 1, pp. 112–120, Feb. 2019.
93. C.L.S.C. Fonseka and J.A.K.S. Jayasinghe «Implementation of an automatic optical inspection system for solder quality classification of THT solder joints», *IEEE Trans. Compon., Packag., Manuf. Technol.*, vol. 9, no. 2, pp. 353–366, Feb. 2019.
94. J. Richter and J. Schambach «Three-dimensional THT solder joint reconstruction for inline inspection systems» *Proc. SPIE*, Sep. 2019, p. 25, Sep. 2019.
95. C.L.S.C. Fonseka and J.A.K.S. Jayasinghe «Color model analysis for solder pad segmentation on printed circuit boards» *Int. J. Sci. Res. Publications*, vol. 6, no. 11, pp. 212–225, 2016.
96. S. Fonseka and J.A.K.S. Jayasinghe «Feature extraction and template matching algorithms classification for PCB fiducial verification» *J. Achievements Mater. Manuf. Eng.*, vol. 1, no. 86, pp. 14–32, Jan. 2018.
97. J. Yu «Enhanced stacked denoising autoencoder-based feature learning for recognition of wafer map defects», *IEEE Trans. Semicond. Manuf.*, vol. 32, no. 4, pp. 613–624, Nov. 2019.
98. B.C. Jiang, C.C. Wang and P.L. Chen «Logistic regression tree applied to classify PCB golden finger defects» *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 24, nos. 7–8, pp. 496–502, Oct. 2004.
99. B.C. Jiang and Y.M.W.C.C. Wang «Bootstrap sampling technique applied to the PCB golden fingers defect classification study» *Int. J. Prod. Res.*, vol. 39, no. 10, pp. 2215–2230, Jan. 2001.
100. D.-M. Tsai and B.-T. Lin «Defect detection of gold-plated surfaces on PCBs using entropy measures» *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 20, no. 6, pp. 420–428, Sep. 2002.
101. Z. Ibrahim and S. A. Rahman Al-Attas «Wavelet-based printed circuit board inspection algorithm» *Integr. Comput.-Aided Eng.*, vol. 12, no. 2, pp. 201–213, Apr. 2005.

102. L. Bai, X. Yang and H. Gao «A novel coarse-fine method for ball grid array component positioning and defect inspection», *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 65, no. 6, pp. 5023–5031, Jun. 2018.
103. J.-D. Song, Y.-G. Kim and T.-H. Park «SMT defect classification by feature extraction region optimization and machine learning» *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 101, nos. 5–8, pp. 1303–1313, Apr. 2019.
104. B.C. Jiang, C.C. Wang and Y.N. Hsu «Machine vision and background remover-based approach for PCB solder joints inspection» *Int. J. Prod. Res.*, vol. 45, no. 2, pp. 451–464, Jan. 2007.
105. X. Hongwei, Z. Xianmin, K. Yongcong and O. Gaofei «Solder joint inspection method for chip component using improved AdaBoost and decision tree», *IEEE Trans. Compon., Packag., Manuf. Technol.*, vol. 1, no. 12, pp. 2018–2027, Dec. 2011.
106. F. Wu and X. Zhang «Feature-extraction-based inspection algorithm for IC solder joints», *IEEE Trans. Compon., Packag., Manuf. Technol.*, vol. 1, no. 5, pp. 689–694, May 2011.
107. N.S.S. Mar, P.K.D.V. Yarlagadda and C. Fookes «Design and development of automatic visual inspection system for PCB manufacturing» *Robot. Comput.-Integr. Manuf.*, vol. 27, no. 5, pp. 949–962, Oct. 2011.
108. W.-Y. Wu, C.-W. Hung and W.-B. Yu «The development of automated solder bump inspection using machine vision techniques» *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 69, nos. 1–4, pp. 509–523, Oct. 2013.
109. F. Wu and X. Zhang «An inspection and classification method for chip solder joints using color grads and Boolean rules» *Robot. Comput.-Integr. Manuf.*, vol. 30, no. 5, pp. 517–526, Oct. 2014.
110. K.W. Ko and H. S. Cho «Solder joints inspection using a neural network and fuzzy rule-based classification method», *IEEE Trans. Electron. Packag. Manuf.*, vol. 23, no. 2, pp. 93–103, Apr. 2000.
111. G. Acciani, G. Brunetti and G. Fornarelli «A multiple neural network system to classify solder joints on integrated circuits» *Int. J. Comput. Intell. Res.*, vol. 2, no. 4, pp. 337–348, 2006.
112. A. Giaquinto, G. Fornarelli, G. Brunetti and G. Acciani «A neurofuzzy method for the evaluation of soldering global quality index», *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 5, no. 1, pp. 56–66, Feb. 2009.
113. G. Acciani, G. Fornarelli and A. Giaquinto «A fuzzy method for global quality index evaluation of solder joints in surface mount technology», *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 7, no. 1, pp. 115–124, Feb. 2011.
114. S.-N. Chiu and M.-H. Perng «Reflection-area-based feature descriptor for solder joint inspection» *Mach. Vis. Appl.*, vol. 18, no. 2, pp. 95–106, Mar. 2007.
115. T.Y. Ong, Z. Samad and M.M. Ratnam «Solder joint inspection with multi-angle imaging and an artificial neural network» *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 38, nos. 5–6, pp. 455–462, Aug. 2008.
116. N.S.S. Mar, C. Fookes and P.K. Yarlagadda «Design of automatic vision-based inspection system for solder joint segmentation» *J. Achievements Mater. Manuf. Eng.*, vol. 34, no. 2, pp. 145–151, 2009.
117. H. Wu, X. Zhang, H. Xie, Y. Kuang and G. Ouyang «Classification of solder joint using feature selection based on Bayes and support vector machine», *IEEE Trans. Compon., Packag., Manuf. Technol.*, vol. 3, no. 3, pp. 516–522, Mar. 2013.
118. W. Hao, Z. Xianmin, K. Yongcong, O. Gaofei and X. Hongwei «Solder joint inspection based on neural network combined with genetic algorithm» *Optik*, vol. 124, no. 20, pp. 4110–4116, Oct. 2013.
119. C. Benedek, O. Krammer, M. Janoczki and L. Jakab «Solder paste scooping detection by multilevel visual inspection of printed circuit boards», *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 6, pp. 2318–2331, Jun. 2013.
120. T.-W. Hui and G. K.-H. Pang «Solder paste inspection using region-based defect detection» *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 42, nos. 7–8, pp. 725–734, Jun. 2009.
121. J. Jiang, J. Cheng and D. Tao «Color biological features-based solder paste defects detection and classification on printed circuit boards», *IEEE Trans. Compon., Packag., Manuf. Technol.*, vol. 2, no. 9, pp. 1536–1544, Sep. 2012.
122. K. Taha, K. Salah and P. D. Yoo «Clustering the dominant defective patterns in semiconductor wafer maps», *IEEE Trans. Semicond. Manuf.*, vol. 31, no. 1, pp. 156–165, Feb. 2018.
123. R. Wang and N. Chen «Wafer map defect pattern recognition using rotation-invariant features», *IEEE Trans. Semicond. Manuf.*, vol. 32, no. 4, pp. 596–604, Nov. 2019.
124. A.J. Crispin and V. Rankov «Automated inspection of PCB components using a genetic algorithm template-matching approach» *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 35, nos. 3–4, pp. 293–300, Dec. 2007.
125. H.-J. Cho and T.-H. Park «Wavelet transform based image template matching for automatic component inspection» *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 50, nos. 9–12, pp. 1033–1039, Oct. 2010.
126. A.-A.-I.M. Hassanin, F.E.A.El-Samie and G.M.El Banby «A real-time approach for automatic defect detection from PCBs based on SURF features and morphological operations» *Multimedia Tools Appl.*, vol. 78, no. 24, pp. 34437–34457, Dec. 2019.
127. M.E. Zervakis, S.K. Goumas and G.A. Rovithakis «A Bayesian framework for multilead SMD post-placement quality inspection», *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. B, Cybern.*, vol. 34, no. 1, pp. 440–453, Feb. 2004.
128. S.K. Goumas, I.N. Dimou and M.E. Zervakis «Combination of multiple classifiers for post-placement quality inspection of components: A comparative study» *Inf. Fusion*, vol. 11, no. 2, pp. 149–162, Apr. 2010.

129. C.-H. Wu, D.-Z. Wang, A. Ip, D.-W. Wang, C.-Y. Chan and H.-F. Wang «A particle swarm optimization approach for components placement inspection on printed circuit boards» *J. Intell. Manuf.*, vol. 20, no. 5, pp. 535–549, Oct. 2009.
130. N. Dong, C.-H. Wu, W.-H. Ip, Z.-Q. Chen and K.-L. Yung «Chaotic species based particle swarm optimization algorithms and its application in PCB components detection» *Expert Syst. Appl.*, vol. 39, no. 16, pp. 12501–12511, Nov. 2012.
131. L. Bai, X. Yang and H. Gao «Corner point-based coarse-fine method for surface-mount component positioning», *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 14, no. 3, pp. 877–886, Mar. 2018.
132. S.-H. Chen and D.-B. Perng «Automatic optical inspection system for IC molding surface» *J. Intell. Manuf.*, vol. 27, no. 5, pp. 915–926, Oct. 2016.
133. C.-C. Wang, B.C. Jiang, J.-Y. Lin and C.-C. Chu «Machine vision-based defect detection in IC images using the partial information correlation coefficient», *IEEE Trans. Semicond. Manuf.*, vol. 26, no. 3, pp. 378–384, Aug. 2013.
134. G. Duan, H. Wang, Z. Liu and Y.-W. Chen «A machine learning-based framework for automatic visual inspection of microdrill bits in PCB production», *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. C, Appl. Rev.*, vol. 42, no. 6, pp. 1679–1689, Nov. 2012.
135. G. Duan, H. Wang, Z. Liu, J. Tan and Y.-W. Chen «Automatic optical phase identification of micro-drill bits based on improved ASM and bag of shape segment in PCB production» *Mach. Vis. Appl.*, vol. 25, no. 6, pp. 1411–1422, Aug. 2014.
136. H. Rau and C.-H. Wu «Automatic optical inspection for detecting defects on printed circuit board inner layers» *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 25, nos. 9–10, pp. 940–946, May 2005.
137. P.-C. Chang, L.-Y. Chen and C.-Y. Fan «A case-based evolutionary model for defect classification of printed circuit board images» *J. Intell. Manuf.*, vol. 19, no. 2, pp. 203–214, Apr. 2008.
138. C.-T. Liao, W.-H. Lee and S.-H. Lai «A flexible PCB inspection system based on statistical learning» *J. Signal Process. Syst.*, vol. 67, no. 3, pp. 279–290, Jun. 2012.
139. E. Yuk, S. Park, C.-S. Park and J.-G. Baek «Feature-learning-based printed circuit board inspection via speeded-up robust features and random forest» *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 6, p. 932, Jun. 2018.
140. S.-F. Chuang, W.-T. Chang, C.-C. Lin and Y.-S. Tarnq «Misalignment inspection of multilayer PCBs with an automated X-ray machine vision system» *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 51, nos. 9–12, pp. 995–1008, Dec. 2010.
141. D.-M. Tsai and R.-H. Yang «An eigenvalue-based similarity measure and its application in defect detection» *Image Vis. Comput.*, vol. 23, no. 12, pp. 1094–1101, Nov. 2005.
142. V.H. Gaidhane, Y.V. Hote and V. Singh «An efficient similarity measure approach for PCB surface defect detection» *Pattern Anal. Appl.*, vol. 21, no. 1, pp. 277–289, Feb. 2018.
143. D.-M. Tsai and C.-K. Huang «Defect detection in electronic surfaces using template-based Fourier image reconstruction», *IEEE Trans. Compon., Packag., Manuf. Technol.*, vol. 9, no. 1, pp. 163–172, Jan. 2019.
144. C.-S. Lin and L. W. Lue «An image system for fast positioning and accuracy inspection of ball grid array boards» *Microelectron. Rel.*, vol. 41, no. 1, pp. 119–128, Jan. 2001.
145. C.-C. Chu, B.C. Jiang and C.-C. Wang «Modified gamma correction method to enhance ball grid array image for surface defect inspection» *Int. J. Prod. Res.*, vol. 46, no. 8, pp. 2165–2178, Apr. 2008.
146. Y.-C. Chiou, C.-S. Lin and B.-C. Chiou «The feature extraction and analysis of flaw detection and classification in BGA gold-plating areas» *Expert Syst. Appl.*, vol. 35, no. 4, pp. 1771–1779, Nov. 2008.
147. A.F. Said, B.L. Bennett, L.J. Karam and J.S. Pettinato «Automated detection and classification of non-wet solder joints», *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 67–80, Jan. 2011.
148. A.F. Said, B.L. Bennett, L.J. Karam, A. Siah, K. Goodman and J.S. Pettinato «Automated void detection in solder balls in the presence of vias and other artifacts», *IEEE Trans. Compon., Packag., Manuf. Technol.*, vol. 2, no. 11, pp. 1890–1901, Nov. 2012.
149. J. Li, B.L. Bennett, L.J. Karam and J.S. Pettinato «Stereo vision based automated solder ball height and substrate coplanarity inspection», *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, vol. 13, no. 2, pp. 757–771, Apr. 2016.
150. W. Jin, W. Lin, X. Yang and H. Gao «Reference-free path-walking method for ball grid array inspection in surface mounting machines», *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 64, no. 8, pp. 6310–6318, Aug. 2017.
151. M. van Veenhuizen «Void detection in solder bumps with deep learning» *Microelectron. Rel.*, pp. 88–90, pp. 315–320, Sep. 2018.
152. X. Lu, Z. He, L. Su, M. Fan, F. Liu, G. Liao and T. Shi «Detection of micro solder balls using active thermography technology and K-means algorithm», *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 14, no. 12, pp. 5620–5628, Dec. 2018.
153. K.W. Ko, D.H. Kim, M.Y. Kim and J.H. Kim «An automatic optical inspection system for inspection of CMOS compact camera module assembly» *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, vol. 10, no. 5, pp. 67–72, Dec. 2009.
154. Y. Liu and F. Yu «Automatic inspection system of surface defects on optical IR-CUT filter based on machine vision» *Opt. Lasers Eng.*, vol. 55, pp. 243–257, Apr. 2014.



155. H.-D. Lin «Computer-aided visual inspection of surface defects in ceramic capacitor chips» *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 189, nos. 1–3, pp. 19–25, Jul. 2007.
156. H.-D. Lin «Automated visual inspection of ripple defects using wavelet characteristic based multivariate statistical approach» *Image Vis. Comput.*, vol. 25, no. 11, pp. 1785–1801, Nov. 2007.
157. T.-H. Sun, F.-C. Tien, F.-C. Tien and R.-J. Kuo «Automated thermal fuse inspection using machine vision and artificial neural networks» *J. Intell. Manuf.*, vol. 27, no. 3, pp. 639–651, Jun. 2016.
158. Y.-J. Chen, T.-H. Lin, K.-H. Chang and C.-F. Chien «Feature extraction for defect classification and yield enhancement in color filter and microlens manufacturing: An empirical study» *J. Ind. Prod. Eng.*, vol. 30, no. 8, pp. 510–517, Dec. 2013.
159. Y.-J. Chen, C.-Y. Fan and K.-H. Chang «Manufacturing intelligence for reducing false alarm of defect classification by integrating similarity matching approach in CMOS image sensor manufacturing» *Comput. Ind. Eng.*, vol. 99, pp. 465–473, Sep. 2016.
160. C.-F. J. Kuo, W.-C. Lo, Y.-R. Huang, H.-Y. Tsai, C.-L. Lee and H.-C. Wu «Automated defect inspection system for CMOS image sensor with micro multi-layer non-spherical lens module» *J. Manuf. Syst.*, vol. 45, pp. 248–259, Oct. 2017.
161. H.-D. Lin «Tiny surface defect inspection of electronic passive components using discrete cosine transform decomposition and cumulative sum techniques» *Image Vis. Comput.*, vol. 26, no. 5, pp. 603–621, May 2008.
162. Y. Yang, Z.-J. Zha, M. Gao and Z. He «A robust vision inspection system for detecting surface defects of film capacitors» *Signal Process.*, vol. 124, pp. 54–62, Jul. 2016.
163. N. Cai, J. Lin, Q. Ye, H. Wang, S. Weng and B.W.-K. Ling «A new IC solder joint inspection method for an automatic optical inspection system based on an improved visual background extraction algorithm», *IEEE Trans. Compon., Packag., Manuf. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 161–172, Jan. 2016.
164. N. Cai, Y. Zhou, Q. Ye, G. Liu, H. Wang and X. Chen «IC solder joint inspection via robust principle component analysis», *IEEE Trans. Compon., Packag., Manuf. Technol.*, vol. 7, no. 2, pp. 300–309, Feb. 2017.

УДК 006, УДК 621.3

## ОРГАНИЗАЦИЯ И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ, МОДИФИКАЦИИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

### ORGANIZATION AND PROCEDURE FOR MODERNIZATION, MODIFICATION AND IMPROVEMENT OF ELECTRONIC COMPONENT PRODUCTS

**Афанасьев А.С.**, к. т. н., доцент, **Конча М.И.**, **Болдырев М.А.**,  
+7 (495) 586-17-21 (доб.1356), bulgakov56@yandex.ru

**Afanasyev A.S.**, Candidate of technical Sciences, **Koncha M.I.**, **Boldyrev M.A.**,  
+7 (495) 586-17-21 (ex.1356), bulgakov56@yandex.ru

**Аннотация:** в статье рассматривается вопрос организации работ по модернизации, модификации и совершенствованию изделий электронной компонентной базы на этапе их серийного производства. Предлагается новый подход к организации модификации базового изделия электронной компонентной базы с целью разрешения противоречий в отношении сущности «типовых испытаний» и установления единого понятийного аппарата в рассматриваемой предметной области, раскрывающего сущность процессов (работ) преобразования изделий электронной компонентной базы: модернизации, модификации и совершенствования.

**Annotation:** the article discusses the organization of work on modernization, modification, and improvement of electronic component base products at the stage of their mass production. It proposes a new approach to the organization of modification of a basic electronic component base product in order to resolve contradictions regarding the essence of “typical tests” and establish a unified conceptual framework in the subject area under consideration, which reveals the essence of the processes (works) of ECB product transformation: modernization, modification, and improvement.

**Ключевые слова:** электронная компонентная база (ЭКБ), базовое изделие, модернизация, модификация, совершенствование, типонаименование, организационно-технический документ.

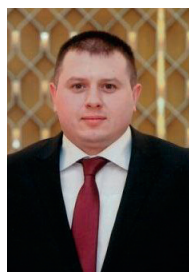
**Keywords:** electronic component base (ECB), basic product, modernization, modification, improvement, type-nominal, organizational and technical document.

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



### Введение

Эффективное управление номенклатурой и жизненным циклом изделий электронной компонентной базы (далее – ЭКБ) требует четкого нормативного разграничения процессов их преобразования: модернизации, модификации и совершенствования. Проблемой является отсутствие регламентированной процедуры для модификации изделий, что часто приводит к подмене понятий и некорректному использованию механизма типовых испытаний для создания новых типоминалов. Предлагаемый подход позволяет четко отделить модификацию от других процессов, устранить нормативные противоречия и существенно сократить сроки и затраты на расширение номенклатуры ЭКБ.



Афанасьев А.С.



Конча М.И.



Болдырев М.А.

### Основная часть

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

Таблица 1

*Качественные признаки отнесения к модернизации, модификации и совершенствованию изделий ЭКБ*

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

Следствием выбора варианта преобразования изделия ЭКБ является выполнение одного из известных мероприятий по внесению изменений в изделие, установленных нормативно-технической документацией – это проведение опытно-конструкторской работы (далее – ОКР) по модернизации изделия или оценка эффективности этих изменений посредством проведения типовых испытаний при совершенствовании изделия [2]. Нерешенным остается вопрос о том, как проводить работы по модификации изделия ЭКБ.

Исходным техническим документом для проведения модернизации изделий ЭКБ, который устанавливает комплекс требований к модернизируемому изделию является техническое задание на выполнение ОКР [3]. Требования к оформлению технического задания на выполнение ОКР по модернизации изделий ЭКБ установлены ГОСТ РВ 0015–201–2021, а порядок

их выполнения – ГОСТ РВ 15.205–2004.

Типовые испытания проводят на основании соответствующего решения об организации данных испытаний и программе, которая должна содержать состав необходимых испытаний из числа квалификационных в объеме достаточном для оценки влияния внесенных изменений на технические характеристики изделия ЭКБ [4] [5].

Практика показывает, что незначительные изменения в конструкцию, технологию изготовления изделия ЭКБ, направленные в том числе на «появление» нового варианта исполнения изделия ЭКБ и, как правило, связанные с изменениями технических характеристик (значений показателей целевого (функционального) назначения), проводятся также на основании решений о проведении типовых испытаний. Таким образом, в ходе реализации решения о проведении типовых испытаний при их положительных

результатах «появляются» новые типономиналы (типоразмеры, варианты конструктивного исполнения) продукции, что противоречит сущности типовых испытаний.

Типовые испытания — контрольные испытания выпускаемой продукции, проводимые с целью оценки эффективности и целесообразности вносимых изменений в конструкцию, рецептуру или технологический процесс (по ГОСТ 16504) [6]. По результатам типовых испытаний должна обеспечиваться взаимозаменяемость и совместимость изделий [4]. Под взаимозаменяемостью понимается способность однотипных изделий обеспечивать возможность взаимной замены в аппаратуре при всех эксплуатационных условиях и режимах, установленных в стандартах и технических условиях, без какой-либо подгонки и отбора по каким-либо параметрам [7]. Одновременно с указанным при совершенствовании продукции не подразумевается изменение ее обозначения.

Исходя из предлагаемого [1] определения термина «модификация изделия ЭКБ» (как процесса) под которым понимается комплекс работ, направленных на *создание* изделия ЭКБ (типономинала, типоразмера, варианта конструктивного исполнения) однородного с базовым изделием путем ограниченного изменения его конструкции, напрашивается данный комплекс проводить путем выполнения ОКР на основании технического задания. Одновременно, в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 0020-39.412-2020 технический уровень разрабатываемых изделий должен превосходить достигнутый уровень отечественных аналогов. Принимая во внимание, что объем изменений при модификации не столь значительный и не подразумевает под собой изменения технического уровня относительно базового изделия, и ввиду отсутствия нормативно-технической документации регламентирующей порядок указанных работ, представляется целесообразным проведение работ по модификации изделий ЭКБ специального назначения проводить на основании решения о проведении модификации изделия ЭКБ.

Необходимость и возможность проведения работ по модификации изделия ЭКБ определяют разработчик, изготовитель и представитель заказчика совместным решением, согласованным с научно-исследовательской организацией заказчика и утвержденным заказчиком.

В данном случае решение должно состоять из:  
титульного листа;  
разделов (общая часть, решение);  
приложений.

Раздел «Общая часть» должен содержать:

- а) причины и краткий анализ возможности внесения в базовое изделие ЭКБ предлагаемых изменений;
- б) сведения о базовом изделии ЭКБ и модификации на его основе с уточнением отличий от базово-

го изделия в части:

требований назначения с указанием количественных показателей значений технических параметров типономинала (типоразмера, варианта конструктивного исполнения), характеризующих их область применения или специализацию;

требований к конструкции (при необходимости);

дополнительных требований стойкости к воздействию внешних воздействующих факторов (при необходимости);

уточненных требований надежности (при необходимости).

В разделе «Решение» в общем случае приводят требования к организации и порядку проведения работ по модификации изделия ЭКБ, а именно:

о выпуске предварительных извещений по внесению изменений в конструкторскую документацию;

о подготовке производства в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 0015-301-2020;

о разработке программы и проведении квалификационных испытаний;

о присвоении обозначений типономиналу (типоразмеру, варианту конструктивного исполнения) при положительных результатах испытаний (при необходимости);

о необходимости проведения работ по внесению изменений в конструкторскую и технологическую документацию для включения в них новых требований, типономинала (типоразмера, варианта конструктивного исполнения) в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 2.902-2005 и ГОСТ Р 2.503-2023;

о проведении работ по каталогизации;

о внесении изменений в ограничительные перечни ЭКБ;

другие требования (при необходимости).

В приложении к решению о проведении модификации изделия ЭКБ должны быть приведены требования, которые отличают новый типономинал (типоразмер, вариант конструктивного исполнения) от выпускаемого (базового) изделия.

Проведение квалификационных испытаний обусловлено «появлением» новых типономиналов (типоразмеров, вариантов конструктивного исполнения) и необходимостью выполнения мероприятий по постановке их на производство с целью оценки готовности предприятия к их производству [8].

Программу квалификационных испытаний допускается не разрабатывать, а пользоваться установленным в ТУ составом квалификационных испытаний. В этом случае состав комиссии по проведению испытаний и уровень согласующих организаций должен быть установлен в решении о проведении модификации [8].

Одновременно с этим, допускаются положительные результаты по отдельным видам испытаний и проверок, полученные в ходе предварительных и государственных испытаний изделия, принятого

за базовое, засчитывать в качестве положительных результатов для аналогичных видов испытаний и проверок, предусмотренных квалификационными испытаниями.

Документы, оформляемые при положительных результатах квалификационных испытаний при модификации изделий ЭКБ должны соответствовать ГОСТ РВ 0015-301-2020.

При положительных результатах испытаний в акте квалификационных испытаний приводят сведения об их соответствии требованиям конструкторской документации с учетом внесенных в нее предварительным извещением изменений и рекомендации изготавливать модифицированные изделия по конструкторской и технологической документации соответствующей литеры после внесения

изменений в документацию в установленном порядке.

Модифицированным изделиям присваивается новое обозначение с учетом положений нормативно-технической документации и технических условий на изделия, как правило, путем дополнения букв А, Б и т. д. или цифр – 01, 02 и т. д., если иное не установлено нормативно-технической документацией на конкретные группы изделий ЭКБ.

На основании изложенного, качественные признаки отнесения к модернизации, модификации и совершенствованию изделий ЭКБ, указанные в таблице 1, предлагается дополнить признаком, указанным в таблице 2, который по сути является следствием выбора одного из вариантов преобразования изделия ЭКБ.

Таблица 2

*Дополнительный качественный признак отнесения к модернизации, модификации и совершенствованию изделий ЭКБ*

Признаки	Изменение признака при		
	модернизации	модификации	совершенствовании
Обозначение изделия ЭКБ	Изменяется на новое (как правило) путем присвоения дополнения <sup>1</sup> , например буквы М при первой модернизации, 2М – при второй и т. д.	Изменяется на новое (как правило) путем присвоения дополнения <sup>1</sup> букв А, Б и т. д. или цифр – 01, 02 и т. д.	Сохраняется
Примечание: 1. Если иное не установлено в нормативно-технической документации на группу изделий ЭКБ			

### Заключение

Таким образом, модернизация, модификация и совершенствование изделий ЭКБ являются важными процессами, способствующими развитию электроники и повышению качества продукции. Правильное понимание организации этих процессов, их особенностей помогут разработчикам и производителям ЭКБ, эффективно и своевременно адаптировать свои изделия к современным требованиям рынка, а организациям, согласующим и утверждающим организационно-технические документы на модернизацию, модификацию и совершенствование изделий ЭКБ, снять многие разногласия при их рассмотрении.

Новый подход к организации модификации базового изделия ЭКБ применим к различным классам (группам) изделий ЭКБ, может быть адаптирован под конкретные требования нормативно-технических документов и позволит:

установить единое понимание, снять противоречия в рассматриваемой предметной области, раскрывающих сущность процессов (работ) преобразования изделий ЭКБ: модернизации, модификации и совершенствования, четко разграничить процессы, связанные с расширением номенклатуры ЭКБ за счет

изменения базового изделия ЭКБ и связанные с совершенствованием изделия ЭКБ;

сократить сроки постановки на производство новой номенклатуры ЭКБ и снизить затраты, связанные с проведением повторных или избыточных испытаний.

### Литература

1. Конча М.И., Болдырев М.А. «Варианты преобразования изделий электронной компонентной базы: модернизация, модификация и совершенствование» // научно-технический журнал «Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения», 2025. № 2 (18). С. 36-40.
2. Конча М.И., Шакуров А.В., Ерохина Е.С. «К вопросу обоснованного выбора: проведение типовых испытаний или постановка ОКР на модернизацию электронной компонентной базы военного назначения» // сборник научных статей XVI Межведомственной научной-теоретической конференции «Вооружение и экономика» – М: ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, 2023.
3. ГОСТ РВ 15.205–2004 «Система разработки и постановки продукции на производство. Военная

- техника. Порядок выполнения опытно-конструкторских работ по созданию комплектующих изделий межотраслевого применения. Основные положения».
4. ГОСТ РВ 15.307–2002 «Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Испытания и приемка серийных изделий. Основные положения».
  5. ГОСТ РВ 0020-57.413-2020 «Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Контроль качества готовых изделий и правила приемки».
  6. ГОСТ 16504-81 «Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения».
  7. ГОСТ В 20.39.402-81 «Комплексная система общих технических требований. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Общие технические требования».
  8. ГОСТ РВ 0015-301-2020 «Система разработки и постановки продукции на производство военной техники. Постановка изделий на производство. Общие положения».

УДК 658.531.1

**ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ НОРМИРОВАНИЯ ЗАТРАТ НА НИОКР В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ  
ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ ДЛЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ:  
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ США И СТРАН ЕВРОПЫ**

**COST ESTIMATION AND REGULATION FOR R&D IN THE DEFENSE SECTOR:  
A COMPARATIVE STUDY OF FOREIGN PRACTICES IN ELECTRONIC  
COMPONENT DEVELOPMENT FOR MILITARY HARDWARE**

**Иванникова Л.Л.**, начальник управления финансово-экономического контроллинга,  
ФГБУ «ВНИИР», +7 (495) 586-17-21 (доб. 1105), ivannikova@vniir-m.ru,  
**Катушкин Ю.Ю.**, ведущий специалист отдела надежности,  
ФГБУ «ВНИИР», +7 (495) 586-17-21 (доб. 1378), katushkin@vniir-m.ru,  
**Михайлова К.А.**, начальник планово-экономического отдела,  
ФГБУ «ВНИИР»; +7 (495) 586-17-21 (доб. 1532), mihailova\_ka@vniir-m.ru

**Ivannikova L.L.**, Head of the Department of Financial and Economic Controlling,  
FSBI "VNIIR"; +7 (495) 586-17-21 (ext. 1105), ivannikova@vniir-m.ru,  
**Katushkin Y.Y.**, Lead Specialist of the Reliability Department,  
FSBI "VNIIR"; +7 (495) 586-17-21 (ext. 1378), katushkin@vniir-m.ru,  
**Mikhaylova K.A.**, Acting Head of the Planning and Economic Department,  
FSBI "VNIIR"; +7 (495) 586-17-21 (ext. 1532), mihailova\_ka@vniir-m.ru

**Аннотация:** в статье исследуется зарубежный опыт нормирования затрат на НИОКР в оборонной отрасли применительно к разработке электронной компонентной базы для вооружения, военной и специальной техники. На основе сравнительного анализа нормативно-правовых баз и методических подходов США и ведущих стран Европейского союза выявлены универсальные тенденции и национальная специфика. Американская модель отличается высокой степенью формализации и стандартизации, тогда как европейские подходы демонстрируют большую гибкость и ориентацию на кооперацию. Сделан вывод о том, что ключевыми принципами эффективного управления затратами являются прозрачность, стандартизация учета и опора на исторические данные. Сформулированы рекомендации по возможной адаптации данного опыта, акцентирующие необходимость создания отраслевой базы данных по затратам и развития методов параметрического оценивания.

**Annotation:** this article examines foreign practices of cost estimation and regulation for R&D in the defense sector, with a specific focus on the development of electronic components for military hardware. Through a comparative analysis of the regulatory frameworks and methodologies employed in the United States (CAS, DFARS) and key European nations (UK's QMAC, EDA initiatives), the study identifies universal trends and national specifics. The American model is characterized by a high degree of formalization and standardization, while European approaches exhibit greater flexibility and a focus on cooperation. The paper concludes that the core principles of transparency,



*standardized cost accounting, and reliance on historical data are crucial for effective cost management. Recommendations are provided for the potential adaptation of these principles, emphasizing the need for a dedicated cost database and the development of advanced cost estimation techniques.*

**Ключевые слова:** нормирование затрат, оборонно-промышленный комплекс (ОПК), электронная компонентная база, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, зарубежный опыт, сравнительный анализ, США, Европейский Союз.

**Keywords:** cost estimation and regulation, defense industry, electronic components, research and development, international best practices, comparative analysis, United States, European Union (EU).

**Научная специальность:** 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика.

## Введение

Актуальность темы обусловлена стратегической зависимостью современного оборонно-промышленного комплекса (далее – ОПК) от состояния и развития электронной компонентной базы (далее – ЭКБ). Создание перспективных образцов вооружения, военной и специальной техники (далее – ВВСТ) напрямую зависит от применения высокотехнологичной ЭКБ, отвечающей жестким требованиям по надежности, стойкости к внешним воздействиям и длительному жизненному циклу. При этом процессы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (далее – НИОКР) в данной сфере характеризуются исключительно высокой капиталоемкостью, значительными техническими рисками и длительными сроками реализации.

Задача обеспечения технологического суверенитета требует ускоренного развития полного цикла разработки и производства отечественной ЭКБ, без которой невозможно создание перспективных видов ВВСТ. В этих условиях развитие собственной, конкурентоспособной ЭКБ превращается из экономической задачи в вопрос национальной безопасности. Это выдвигает на первый план потребность в создании эффективных систем нормирования и контроля затрат на НИОКР, что является ключевым условием для оптимизации бюджетных расходов, преодоления технологического отставания и обеспечения технологического суверенитета. Как справедливо отмечает Синявская Е.Р.: «Предприятиям, участвующим в программах импортозамещения, целесообразно более детально рассмотреть преимущества и недостатки вновь вводимых или реорганизуемых производственных процессов с учетом совокупности всех методов калькулирования. Это позволит повысить эффективность планирования затрат как в текущих периодах, так и для стратегических целей» [1].

Степень научной разработанности проблемы освещена в трудах ряда отечественных и зарубежных исследователей, анализирующих общие принципы управления затратами в ОПК. Вопросы методологии ценообразования и управления издержками в оборонно-промышленном комплексе нашли отражение в работах российских авторов, таких как Алехин А.И., Грачев С.В., Кадочников П.А., Куприянов Д.В., которые исследуют преимущественно общеотрасле-



Иванникова Л.Л. Катушкин Ю.Ю. Михайлова К.А.

вые аспекты. Однако вопросы нормирования затрат именно на стадии НИОКР применительно к созданию специализированной ЭКБ для ВВСТ, отличающейся малосерийностью и уникальными техническими требованиями, а также в условиях ограничения доступа к глобальным цепочкам создания стоимости, остаются недостаточно изученными. В частности, отсутствуют комплексные сравнительные исследования, систематизирующие и анализирующие подходы ведущих зарубежных стран к решению данной задачи, что могло бы послужить основой для выработки адаптированных отечественных решений.

В настоящей статье проведен сравнительный анализ зарубежного опыта нормирования затрат на НИОКР при разработке ЭКБ для оборонной отрасли с акцентом на методы оценки трудоемкости и расходов на оплату труда как одной из наиболее емких и сложно нормируемых статей затрат, а также выявление ключевых принципов, применимых для адаптации в отечественной практике в текущих геополитических условиях.

## Основная часть

Нормирование затрат на НИОКР при создании ЭКБ для оборонной отрасли характеризуется значительной спецификой, особенно в части оценки трудоемкости и расходов на оплату труда. Данная статья затрат традиционно составляет от 40 % до 60 % от общего объема финансирования НИОКР и является наиболее сложной для формализации в силу следующих объективных факторов:

1. Высокая доля нестандартизированного интеллектуального труда.

В отличие от серийного производства, где возможно применение временных нормативов, процесс

разработки специализированной ЭКБ включает значительный объем творческих, исследовательских задач:

- проектирование архитектурных решений;
- решение научно-технических проблем;
- алгоритмизация функций управления.

Трудоемкость таких задач слабо поддается формальному нормированию и требует применения экспертных методов оценки. Как справедливо отмечает Подольский А.Г.: «...существующие методы оценки напряженности научного труда не в полной мере учитывают психофизиологические особенности творческой деятельности, что приводит к занижению нормативов трудоемкости при планировании НИР» [2].

## 2. Многоуровневая схема проектирования.

Процесс создания ЭКБ предполагает многочисленные циклы проектирования-верификации-доработки, что приводит к:

- невозможности точного планирования трудозатрат на начальных этапах;
- необходимости регулярного пересмотра нормативов в ходе проекта;
- кумулятивному эффекту накопления трудозатрат при каждой итерации.

## 3. Кросс-функциональный характер работ.

Разработка компонентов требует участия высококвалифицированных специалистов различных профилей:

- схемотехников;
- специалистов по полупроводниковым технологиям;
- специалистов по разработке встроенного программного обеспечения;
- инженеров-испытателей.

Сложность распределения трудозатрат между параллельными проектами увеличивает погрешность нормирования.

Проведенный анализ позволяет выявить системную проблему нормирования затрат на НИОКР применительно к разработке ЭКБ в интересах ОПК. Ключевой проблемой является отсутствию единых методических принципов калькуляции затрат, адаптированных к специфике полного цикла разработки и испытаний ЭКБ.

Сложившаяся практика нормирования не учитывает в полной мере отраслевые особенности создания ЭКБ, что приводит к значительной вариативности в подходах к оценке стоимости и трудоемкости.

Особую сложность в контексте разработки ЭКБ представляет отсутствие стандартизированных подходов нормирования для унифицированных мероприятий, таких как:

- специфические испытания ЭКБ: испытания на стойкость к радиации, экстремальным температурам, вибрациям и электромагнитной совместимости;
- проектирование и изготовление опытных образцов (прототипов) с использованием уникальных

технологических процессов;

– метрологическая экспертиза и аттестация измерительных методик для контроля параметров ЭКБ;

– патентные исследования в области микроэлектроники и полупроводниковых технологий;

– работы по стандартизации и унификации конструкторско-технологических решений.

Отсутствие унифицированных и технически обоснованных нормативов для этих видов работ приводит к их необоснованной вариативности в калькуляциях затрат, затрудняет планирование бюджета и последующего контроля затрат. Выработка специализированных отраслевых стандартов нормирования, учитывающих полный цикл создания ЭКБ – от проектирования до квалификационных испытаний, – представляется необходимым условием для повышения объективности, прозрачности и эффективности управления затратами в данной сфере.

Представленный подход к нормированию трудоемкости НИОКР является методологически обоснованным, что подтверждается мировым опытом ведущих технологических держав. Анализ практик лидирующих стран показывает последовательную реализацию аналогичных принципов:

США: система Cost Accounting Standards (CAS) предусматривает обязательное использование структурированных методов оценки трудоемкости.

Европейский союз: в рамках программ Европейского оборонного агентства (EDA) применяется дифференцированный подход к нормированию.

Восточноазиатские страны, такие как Япония, Южная Корея, Сингапур демонстрируют эффективные модели, сочетающие:

- государственные стандарты оценки трудоемкости;
- корпоративные системы нормирования;
- регулярный мониторинг и актуализацию нормативной базы.

Исследование подходов к нормированию в технологически развитых странах выявляет общую тенденцию к использованию дифференцированных нормативов трудоемкости НИОКР, учитывающих специфику исследований и квалификацию персонала.

Опыт США – страны с наиболее развитой системой управления затратами в оборонной сфере, демонстрирует последовательную реализацию следующих ключевых принципов:

## 1. Стандартизация учета трудозатрат.

Система CAS предусматривает [3]:

- обязательную детализацию учета рабочего времени по проектам и задачам;
- унифицированные методы распределения косвенных расходов;
- прозрачную систему калькуляции затрат на научный персонал.

Ключевым инструментом выступает параметрическая формула расчета нормативной трудоемкости:

$$T = K \cdot (S \cdot C) + A^1,$$

где  $T$  – нормативная трудоемкость, чел.-час;  
 $K$  – коэффициент сложности проекта (0,8-1,5);  
 $S$  – базовый норматив трудоемкости (чел.-часы на единицу сложности);  
 $C$  – количество условных единиц сложности проекта;  
 $A$  – поправочные коэффициенты на уникальность разработки.

## 2. Дифференциация подходов к оценке.

Американская практика демонстрирует применение дифференцированных формул в зависимости от типа и стадии НИОКР:

Для параметрического моделирования типовых конструкторских работ:

$$T_{\text{констр}} = N \cdot K_{\text{сл}} \cdot (1 + \sum K_p)^1,$$

где  $T_{\text{констр}}$  – трудоемкость конструкторских работ, чел.-час;  
 $N$  – базовый норматив на единицу работы;  
 $K_{\text{сл}}$  – коэффициент сложности изделия;  
 $\sum K_p$  – сумма поправочных коэффициентов (новизна, срочность и т.д.).

Для экспертных оценок фундаментальных исследований:

$$T_{\text{нир}} = (T_{\text{мин}} + 4 \cdot T_{\text{вер}} + T_{\text{макс}}) / 6^1,$$

где  $T_{\text{нир}}$  – ожидаемая трудоемкость НИР, чел.-час;  
 $T_{\text{мин}}$ ,  $T_{\text{вер}}$ ,  $T_{\text{макс}}$  – оценки трудоемкости по методу PERT (пессимистическая, наиболее вероятная, оптимистическая), чел.-час.

Для гибкого нормирования проектов с высокой неопределенностью:

$$T_{\text{иннов}} = T_{\text{баз}} \cdot e^{(K_{\text{риск}} \cdot V)^1},$$

где  $T_{\text{иннов}}$  – трудоемкость инновационного проекта, чел.-час;  
 $T_{\text{баз}}$  – трудоемкость базового аналога, чел.-час;  
 $K_{\text{риск}}$  – коэффициент рискованности проекта (0,1-0,5);  
 $V$  – показатель вариативности технических требований.

Практическое применение в американской системе:

– Министерство обороны США использует параметрические модели для 65 % оценок;

– НАСА применяет PERT-оценки для космических программ;

– Агентство передовых оборонных исследовательских проектов использует формулы риск-корректировки для прорывных проектов.

Такой подход позволяет снизить погрешность оценок от 25 % до 40 % по сравнению с унифицированными методами и обеспечивает обоснованное планирование для различных типов НИОКР.

В отличие от детализированной федеральной системы США, подход Великобритании, реализуемый через Управление по регулированию закупок из единственного источника (Single Source Regulations Office, SSRO), демонстрирует гибкую модель нормирования, сочетающую стандартизацию методик с индивидуальной оценкой проектов [4].

Данная модель демонстрирует эффективные механизмы адаптации нормативов к специфике различных проектов при сохранении прозрачности расчетов. Ключевые аспекты британской системы:

– нормативная база – регулируется Законом о реформе оборонной сферы (Defence Reform Act 2014) [5];

– институциональное обеспечение – функционирование Службы регулирования закупок из единственного источника (SSRO);

– методическое единство – применение единых принципов калькуляции затрат;

– практическая адаптивность – система коэффициентов и нормативов, учитывающих специфику проектов.

Формализованная модель расчета:

$$RP = (BP \cdot CPR) + (AC \cdot ICR)^1,$$

где  $RP$  – регулируемая прибыль;  
 $BP$  – базовая стоимость проекта;  
 $CPR$  – ставка договорной прибыли;  
 $AC$  – допустимые затраты;  
 $ICR$  – коэффициент инновационных затрат.

К преимуществам британского подхода можно отнести:

– сочетание стандартизации и гибкости;  
– прозрачность методологии расчета;  
– сбалансированность интересов государства и подрядчика;  
– адаптируемость к различным типам проектов.

Данная система представляет особую ценность для стран, стремящихся создать эффективную модель нормирования затрат на оборонные НИОКР при сохранении стимулов для инновационного развития промышленности.

В отличие от британской системы с ее акцентом

<sup>1</sup> адаптированная модель на основе анализа открытых источников и экспертных оценок



на формализацию и прозрачность процедур, французский подход, реализуемый Управлением вооружений, демонстрирует более гибкую и адаптивную модель, ориентированную на стоимостной инжиниринг и управление полным жизненным циклом сложных систем вооружений [6]. Ключевые методические подходы:

1. Многоуровневая модель калькуляции:

$$C_{\text{total}} = C_{\text{rd}} + C_{\text{qual}} + C_{\text{ser}}^1,$$

где  $C_{\text{total}}$  – полная стоимость программы;  
 $C_{\text{rd}}$  – затраты на НИОКР;  
 $C_{\text{qual}}$  – затраты на квалификацию и испытания;  
 $C_{\text{ser}}$  – затраты на сопровождение и поддержку.

2. Формула нормативной трудоемкости НИОКР:

$$T_{\text{fr}} = T_{\text{base}} \cdot (K_c + K_i + K_r)^1,$$

где  $T_{\text{fr}}$  – нормативная трудоемкость, чел.-час;  
 $T_{\text{base}}$  – базовая трудоемкость по типологиям проектов, чел.-час;  
 $K_c$  – коэффициент сложности (0,8-2,0);  
 $K_i$  – коэффициент инновационности (1,0-1,8);  
 $K_r$  – коэффициент риска (1,0-1,5).

3. Модель распределения затрат в жизненном цикле:

$$C_{\text{rd}} = C_{\text{total}} \cdot K_{\text{amort}}^1,$$

где  $C_{\text{rd}}$  – затраты на НИОКР;  
 $C_{\text{total}}$  – полная стоимость программы;  
 $K_{\text{amort}}$  – коэффициент амортизации НИОКР (0,15-0,25).

Также существуют отраслевые особенности, например, для компонентной базы:

$$C_{\text{el}} = (C_{\text{develop}} + C_{\text{test}} \cdot N_{\text{iter}}) \cdot K_{\text{qual}}^1,$$

где  $C_{\text{el}}$  – стоимость одного изделия;  
 $C_{\text{develop}}$  – стоимость разработки;  
 $C_{\text{test}}$  – стоимость одного цикла испытаний;  
 $N_{\text{iter}}$  – количество итераций проектирования;  
 $K_{\text{qual}}$  – коэффициент квалификационных испытаний.

Применение данных подходов позволило снизить затраты на 18 % за счет оптимизации нормативов, сократить сроки выполнения НИОКР на 22 %, внедрить модульный принцип калькулированию.

Создана система управления нормативами, включающая в себя:

- единую базу данных нормативов SID;
- регулярный аудит фактических затрат;

– механизм ежегодной корректировки коэффициентов.

Анализ лучших международных практик нормирования затрат на НИОКР в оборонной отрасли выявил универсальные принципы, которые могут быть адаптированы в российской системе с учетом национальной специфики. Несмотря на различия в подходах США, Великобритании и Франции, их объединяет наличие стройной методологической базы, прозрачных механизмов калькуляции и гибкой системы коэффициентов, позволяющей учитывать уникальность проектов. На основе синтеза наиболее эффективных элементов зарубежных моделей представляется целесообразным разработать комплексную систему нормирования для России, сочетающую стандартизацию учета с дифференцированным подходом к оценке трудоемкости различных категорий НИОКР. Ключевыми элементами такой системы должны стать параметрические модели расчета затрат, адаптивные нормативы и механизмы стимулирования эффективности, что позволит достичь сопоставимого с международным уровнем качества планирования оборонных закупок при оптимизации бюджетных расходов.

Учитывая положительный опыт зарубежных стран, предлагаемая система нормирования трудоемкости разработки ЭКБ требует обязательной автоматизации, что обусловлено:

– сложностью расчетов (многокомпонентность формулы с 10+ переменными, необходимость оперативного пересчета при изменении параметров, учет взаимовлияния коэффициентов);

– необходимостью работы с библиотекой нормативов (большой объем данных (50+ унифицированных операций), постоянная актуализация нормативной базы, ведение истории изменений нормативов);

– требованиями к оперативности и точности (необходимость оперативного расчета трудоемкости на этапе ТЭО, минимизация человеческого фактора при выполнении расчетов, возможность сценарного анализа).

Формула расчета трудоемкости с учетом унифицированных операций:

$$T_{\text{ЭКБ}} = \sum U + [N_{\text{эл}} \cdot K_{\text{тех}} \cdot (K_{\text{сложн}} + K_{\text{новизны}} + K_{\text{риска}})] \cdot (1 + K_{\text{итерации}}) + T_{\text{испыт}} + K_{\text{требований}} + T_{\text{серт}},$$

где  $\sum U$  – суммарная трудоемкость унифицированных операций, рассчитываемая на основе нормативной базы данных;

$N_{\text{эл}}$  – количество элементов (транзисторов, вентиляторов);

$K_{\text{тех}}$  – технологический коэффициент;

$K_{\text{сложн}}$  – коэффициент архитектурной сложности;

$K_{\text{новизны}}$  – коэффициент новизны разработки;

$K_{\text{риска}}$  – коэффициент технологических рисков;

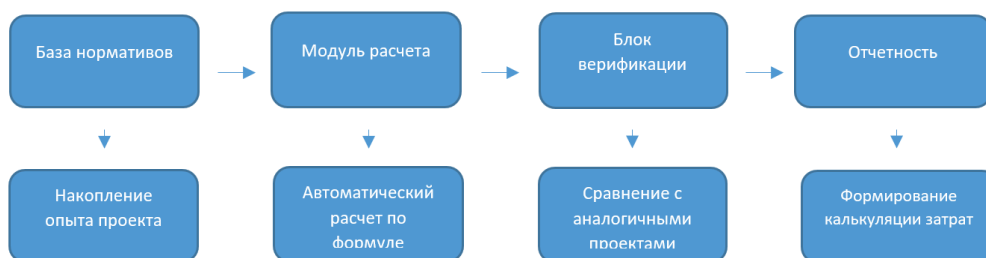


Рис. 1. Архитектура автоматизированной системы

$K_{\text{итерации}}$  – коэффициент итеративности процесса;  
 $T_{\text{испыт}}$  – базовая трудоемкость испытательного цикла;  
 $K_{\text{требований}}$  – коэффициент специальных требований;  
 $T_{\text{серт}}$  – трудоемкость сертификации.

Архитектура автоматизированной системы представлена на рис. 1:

Ключевые функциональные требования:

- интеграция с системами проектирования;
- автоматический сбор технических параметров ( $N_{\text{эл}}$ ,  $K_{\text{техн}}$ );
- ведение библиотеки унифицированных операций ( $\Sigma U$ );
- сценарное планирование с варьированием коэффициентов;
- формирование отчетности в установленных форматах.

Преимущества автоматизации:

- сокращение времени расчета на (70-80) %;
- повышение точности оценок на (25-30) %;
- возможность оперативного пересчета при изменении технического задания;
- накопление и анализ статистики по проектам;
- снижение трудозатрат на подготовку сметной документации;

Разработка специализированного программного модуля, интегрированного с системой управления жизненным циклом изделия, позволит автоматически рассчитывать трудоемкость на основе данных технического проекта и актуальных нормативов из единой базы данных.

Важным инструментом решения проблемы стандартизации процессов нормирования выступают современные системы информационной поддержки радиоэлектронной промышленности. Как справедливо отмечается в исследованиях по систематизации научно-технической информации, контур РЭА и ЭКБ «формирует единую базу данных, обеспечивающую информационную взаимосвязь разрабатываемой и производимой РЭА и ЭКБ с потребностями отраслей экономики» [7].

«Предложенная система информационных контуров РЭП создает методологическую основу для фор-

мирования библиотеки унифицированных операций, необходимой для автоматизации процесса нормирования затрат на НИОКР. Интеграция с существующими информационными системами и базами данных ГСНТИ позволяет обеспечить:

- параметрическое сравнение компонентов по ключевым техническим характеристикам;
- доступ к каталогам отечественных ЭКБ и РЭА;
- использование библиотек 3D-моделей и нормативно-технической документации.

Данный подход создает инфраструктурную основу для внедрения предлагаемой в исследовании системы нормирования, обеспечивая достоверность исходных данных для расчета трудоемкости разработки электронно-компонентной базы.» [7].

Автоматизация процесса нормирования является критически важным элементом внедрения предлагаемой системы, обеспечивающим ее практическую применимость и эффективность в промышленной эксплуатации.

### Заключение

Анализ зарубежного опыта нормирования затрат на НИОКР в оборонной отрасли применительно к разработке электронно-компонентной базы позволил выявить ключевые особенности современных систем нормирования, используемых в США и ведущих европейских странах, которые демонстрируют эффективность параметрических методов оценки, основанных на технических характеристиках изделий и учете полного жизненного цикла разработки.

На основе сравнительного анализа предложена адаптированная модель нормирования для российской практики, включающая формализованный подход к оценке трудоемкости с использованием системы корректирующих коэффициентов, учитывающих технологическую сложность, новизну разработки и специальные требования к компонентам военного назначения. Разработана интегральная формула расчета, объединяющая оценку базовой трудоемкости проектирования с нормативами на выполнение унифицированных операций.

Особое значение имеет предложение по автоматизации процесса нормирования, что позволит существенно повысить точность планирования, обеспечить прозрачность расчетов и создать основу для

формирования единой отраслевой базы нормативов. Внедрение предложенной системы будет способствовать оптимизации бюджетных расходов и повышению эффективности управления оборонными заказами в области разработки перспективной ЭКБ.

#### Литература:

1. Развитие территориальных социально-экономических систем: вопросы теории и практики. Материалы XVI Международной научно-практической конференции молодых ученых. Отв. Ред. Лаврикова Ю.Г., 2019. С. 204-207.
2. Подольский А.Г., Бабкин А.В. «Методическое обеспечение определения трудоемкости научно-исследовательских работ и напряженности работы по их выполнению в условиях ограниченных человеческих ресурсов». Вооружение и экономика. 2023. № 1 (63). С. 133-141.
3. Rayburn, Frank R. "Cost Accounting Standards Board (1970-1980-; 1988-) in History of Accounting: An International Encyclopedia, edited by Michael Chatfield and Richard Vangermeersch. New Y.
4. Гусарова О.В. «Основные методы закупок в системе военной контрактации Великобритании». Московский экономический журнал. 2021. №11. С. 722-736.
5. Recommendations to the Secretary of State: Review of Part 2 of the Defence Reform Act 2014 and the Single Source Contract Regulations 2014. Single Source Regulations Office. June 2017.
6. Иванов А.В. «Управление затратами в оборонно-промышленном комплексе». М.: Вузовская книга, 2020. 345 с.
7. Цифровая трансформация процессов информационной интеграции, информационного взаимодействия и информационной поддержки в систему научно-технологического развития отраслей радиоэлектронной промышленности. Иванов И.С., Трусов А.В., Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2024. № 3(15). С. 8-12.

УДК 621.383.8

### РАЗРАБОТКА ФОТОДИОДНОЙ МИШЕНИ ДЛЯ ИНФРАКРАСНОГО ВИДИКОНА

#### DEVELOPMENT OF A PHOTODIODE TARGET FOR INFRARED VIDICON

**Таганова М.В.**, инженер, **Меркин С.Ю.**, старший научный сотрудник, **Вязников А.Н.**, генеральный директор, АО «ЦНИИ «Электрон», +7 (951) 656-41-97, mvbogdanova@inbox.ru, +7 (812) 297-04-03, semion08@gmail.com, a.vyaznikov@niielectron.ru

**Taganova M.V.**, Engineer, **Merkin S.Yu.**, Senior Researcher, **Vyaznikov A.N.**, General Director, JSC "Central Research Institute "ELECTRON", +7 (951) 656-41-97, mvbogdanova@inbox.ru, +7 (812) 297-04-03, semion08@gmail.com, a.vyaznikov@niielectron.ru

**Аннотация:** в статье рассмотрены особенности изготовления и функционирования фоточувствительных мишеней видиконов, а также приведены данные о состоянии существующих мишеней и перспективы в разработке новой фотодиодной мишени на основе арсенида индия (InAs), изготавливаемой для фотоприемного устройства инфракрасного диапазона. Разработка данной мишени предполагает повышение чувствительности, долговечности, предельной рабочей температуры и других характеристик ФПУ по сравнению с аналогичным ФПУ на основе используемой сейчас мишени InAs-PbS-CdTe.

**Annotation:** the article discusses the features of the manufacture and operation of photosensitive vidicon targets, and also provides data on the state of existing targets and prospects for the development of a new photodiode target based on indium arsenide (InAs), manufactured for an infrared photodetector. The development of this target is expected to improve the sensitivity, durability, maximum operating temperature and other characteristics of the photodetector compared to a similar photodetector based on the currently used InAs-PbS-CdTe target.

**Ключевые слова:** фотодиодная мишень, инфракрасное фотоприемное устройство, видикон.

**Keywords:** photodiode target, infrared photodetecting device, vidicon.

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

## Введение

Инфракрасные фотоприемные устройства (далее – ИК ФПУ) играют ключевую роль в современных системах наблюдения, обнаружения и измерения, применяемых в различных областях, включая военное дело и научные исследования [1]. ИК ФПУ, разработанное в АО «ЦНИИ «Электрон», представляет собой видикон, предназначенный для использования в космической аппаратуре, особенностями которого являются высокая чувствительность и надёжность, а также значительный размер рабочей области мишени и ее охлаждение до криогенных температур. Мишень видикона является одним из ключевых элементов этого устройства, поскольку служит для преобразования светового сигнала в электрический при помощи внутреннего фотоэффекта и определяет основные характеристики ФПУ. Поэтому исследование данного элемента видикона и разработка новых вариантов его исполнения является актуальной и перспективной задачей.

## Принцип работы мишени видикона

Электронно-оптическая система видикона содержит электронный прожектор и мелкоструктурную выравнивающую сетку, помещённую перед мишенью, которая обеспечивает ортогонализацию луча, т. е. подход электронов ко всей поверхности мишени под прямым углом. Это позволяет осуществлять равномерную фокусировку луча и одинаковый исходный потенциал на всей поверхности рабочей области мишени, что является одним из условий получения равномерного сигнала по всему полю изображения. Прожектор состоит из подогреваемого катода, управляющего электрода, первого и второго анодов. Второй анод создает эквипотенциальную область, в которой происходит фокусировка и отклонение развёртывающего луча. Фокусировка, отклонение и коррекция траектории электронного луча осуществляется внешней магнитной системой, состоящей из фокусирующей, отклоняющих и корректирующих катушек.

Основной принцип работы мишени заключается в преобразовании светового сигнала в электрический при помощи внутреннего фотоэффекта. При отсутствии освещения фотослой имеет высокое (темновое) сопротивление. При освещении мишени внутри фотослоя за счет поглощения энергии излучения возникают носители тока. При проекции изображения на мишень, сопротивления её элементов оказываются различными и возникает рельеф сопротивлений. Коммутация мишени включает зарядку мишени и считывание зарядового рельефа путём поэлементного сканирования электронным лучом в режиме «медленных» электронов в два этапа: этап подготовки мишени и этап считывания сигнала. Между двумя коммутациями (т. е. за период кадра) происходит разряд ёмкостей через элементарные сопротивления, а так как эти сопротивления разные (чем выше



Таганова М.В.



Меркин С.Ю.



Вязников А.Н.

освещённость, тем меньше сопротивление элемента), ток разряда оказывается различным. Таким образом, рельеф сопротивлений преобразуется в потенциальный рельеф. Сигнал изображения образуется при последовательном прохождении участков мишени электронным лучом, дозаряжающим ёмкости. При этом на неосвещённых участках ток будет маленьким, поскольку на них сопротивление было большим, значит, разряда почти не произошло, а на ярких участках, где произошел почти полный разряд, ток дозарядки будет большим. Эта разность тока создает падение напряжения на сопротивлении нагрузки и является током сигнала видикона.

Основные характеристики видикона, на которые влияет выбор мишени:

1. Спектральная характеристика видикона зависит от материала мишени (соединения сурьмы, селена, мышьяка, серы или другие), поэтому видиконы могут быть чувствительны к инфракрасному, видимому, ультрафиолетовому и рентгеновскому излучениям.

2. Световая характеристика видикона определяется зависимостью фотопроводимости мишени от освещённости и от заряда, т.е. от напряжения на сигнальной пластине (мишени). Характеристика зависит от параметров конструкции и материала мишени и может быть линейной или нелинейной, причем нелинейность может изменяться от величины напряжения на сигнальной пластине (мишени).

3. Разрешающая способность видикона характеризуется апертурной характеристикой: структурой, размерами и конечным значением поверхностной проводимости мишени, а также выбором соответствующего сечения коммутирующего луча.

4. Инерционность, проявляющаяся в виде тянущегося следа за движущимися объектами, может являться существенным недостатком видикона. Выделяются две основные составляющие инерционности: первая — фотоэлектрическая, обусловленная физическими процессами, происходящими в мишени, и зависящая от характеристик материала, содержания примесей, технологии производства и уровня освещённости; вторая — коммутационная, возникающая из-за недостаточного значения тока электронного луча (приводит к тому, что потенциальный рельеф на мишени не успевает выравниваться в течение



периода развертки). Инерционность видикона можно уменьшить в основном за счет повышения качества мишени, так как при увеличении тока луча может произойти уменьшение разрешающей способности. Также для уменьшения инерционности используют специальные материалы мишени – окислы свинца и кремний. Инерционность видиконов с такими мишенями слабо зависит от освещенности и сохраняется довольно малой даже при низкой освещенности, однако, использование PbO ставит жесткие требования к температуре прибора, т. к. прогрев в вакууме при 100 °C уничтожает фоточувствительность слоя [2].

### InAs-PbS-CdTe мишень видикона

Применение в качестве материала мишеней узкозонных полупроводников даёт возможность расширить спектральную чувствительность видиконов в среднюю ИК область ( $\approx 2,5...5,5$  мкм). Используемая сейчас в производстве мишень видикона в первом приближении представляет собой так называемую МДП-структуру (металл – диэлектрик – полупроводник), где роль металла выполняет коммутирующий мишень электронный луч, а высокоомный полупроводниковый слой играет роль диэлектрика [3]. Данное сравнение корректно использовать во время работы мишени в режиме накопления, однако по своему существу и свойствам такая мишень отлична от МДП-структуры. Схематичное изображение данной мишени, на основе структуры InAs-PbS-CdTe, представлено на рис. 1.

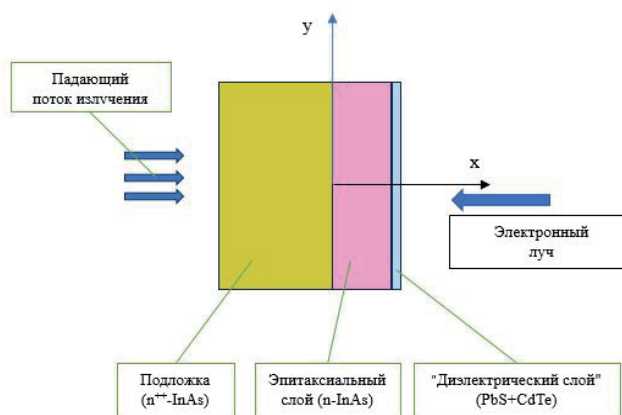


Рис. 1. Конструкция InAs-PbS-CdTe мишени ИК видикона

В представленной мишени входное излучение, проходя через подложку из сильнолегированного арсенида индия, который «прозрачен» в рабочем диапазоне длин волн благодаря эффекту Бурштейна–Мосса, поглощается в фоточувствительном эпитаксиальном слое из слаболегированного n-InAs. На поверхность эпитаксиального слоя n-InAs наносится слой высокоомного полупроводника (возможно использование полупроводников группы  $A^4B^6$  и  $A^2B^6$ ), который условно называют «диэлектрическим» слоем.

«Диэлектрический» слой является накопительной емкостью, на которой происходит процесс накопления полного фотозаряда. К этому слою предъявляются весьма противоречивые требования:

Удельная емкость слоя должна быть как можно больше, так как это позволяет накопить большой фотозаряд и, следовательно, достигнуть высокой чувствительности. Это означает, что «диэлектрический» слой должен быть как можно тоньше и иметь высокую диэлектрическую постоянную. Дополнительное условие, которое также требует высокой удельной емкости «диэлектрического» слоя, заключается в том, что во время процесса подготовки мишени напряжения возникающие на эпитаксиальном слое Уопз (на области поверхностного заряда, ОПЗ) и на «диэлектрическом» слое Уд соотносятся друг с другом в соответствии со следующим выражением:

$$(U_{опз} / U_d) = (C_d / C_{опз}).$$

Таким образом, чем выше емкость «диэлектрического» слоя по сравнению с емкостью ОПЗ, тем большая часть напряжения сигнальной пластины Усп будет приложена к ОПЗ, что увеличит динамический диапазон, время накопления и чувствительность.

2. Так как в конце процесса накопления напряжение на «диэлектрическом» слое значительно возрастает, этот слой должен иметь высокую электрическую прочность.

3. Особые требования предъявляются к постоянной времени разряда слоев. Так как постоянная времени разряда эпитаксиального слоя ( $\tau_n$ ) значительно меньше постоянной времени разряда «диэлектрического» слоя ( $\tau_d$ ), то определяющее значение имеет правильный выбор  $\tau_d$ . На этапе накопления постоянная времени должна быть значительно больше, чем время накопления –  $\tau_n$ , чтобы накопленный фотозаряд не «стекал». С другой стороны, за время между считыванием сигнала и следующим моментом подготовки постоянная времени «диэлектрического» слоя должна быть значительно меньше, чем время кадра  $\tau_k$ , т. е.:

$$\tau_n \ll \tau_d \ll \tau_k.$$

4. Дополнительным, и не менее важным, требованием к «диэлектрическому» слою является его способность обеспечить так называемую «пассивацию» границы эпитаксиального слоя с «диэлектрическим» слоем, т. е. уменьшение плотности поверхностных состояний на этой границе. Так как в МДП-структуре с тонким эпитаксиальным слоем основной вклад в создание термогенерированного (темнового) тока вносят поверхностные состояния, то уменьшение их плотности приводит к снижению темнового тока, который должен быть значительно ниже фонового тока. Это позволяет работать ИК видикону с максимальным временем накопления, т. е. в так называемом «режиме чувствительности, ограниченной фоном».

Из вышеуказанного следует, что подбор оптимальных параметров «диэлектрического» слоя во многом

определяет основные характеристики видикона. Для рассматриваемого в этой работе ИК ФПУ на поверхность эпитаксиального слоя  $n$ -InAs в вакууме термически напыляются тонкие плёнки сернистого свинца и теллуристого кадмия, величина проводимости которых выбрана исходя из условия соизмеримости времени стекания заряда, нанесённого электронным лучом на слой, со временем накопления и временем кадра (рис. 1). Используемая технология термического напыления «диэлектрического» слоя имеет ряд существенных недостатков и ограничивает высокие требования к качеству и однородности слоев, поэтому в разработке новой мишени было принято решение создавать функциональные слои внутри эпитаксиального слоя InAs. Такая технология создания фоточувствительных областей имеет ряд преимуществ, которые будут описаны ниже.

### Фотодиодная мишень видикона

В связи с ростом требований к характеристикам ИК ФПУ в АО «ЦНИИ «Электрон» проводится разработка, включающая изготовление и исследование новой фотодиодной мишени (далее – ФД-мишени), которая представляет собой матричную структуру с фоточувствительными элементами – фотодиодами на основе InAs. Схематическое изображение данной мишени представлено на рис. 2. Основу такого изделия, как и в случае с «МДП»-мишенью, составляет подложка из сильнолегированного арсенида индия (6) с выращенным на ней эпитаксиальным слоем (5). В эпитаксиальном слое сформирована матрица  $p$ - $n$  переходов (4) и сетка стоп-слоя из  $p$ -InAs (3). На поверхность нанесена изолирующая диэлектрическая пленка (2) и матрица контактов к  $p$ - $n$  переходам (1). Надо отметить, что аналогичная конструкция мишени на основе кремния успешно используется в видиконе ЛИ-479 («кремникон»), чувствительность и другие параметры которого имеют максимальные значения для видиконов видимого диапазона.

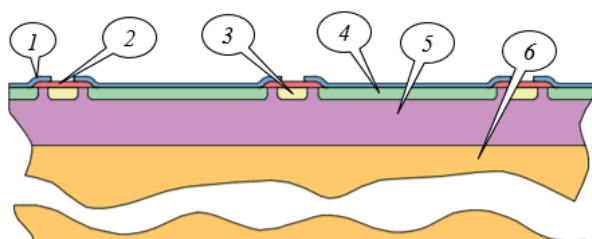


Рис. 2. Схема фотодиодной мишени ИК видикона:

- 1 – контактные области (Cr+Au(Zn)); 2 – анодный окисел +  $\text{SiO}_x$ ;
- 3 – диффузионная область InAs, легированная Si;
- 4 – диффузионная область InAs, легированная Be;
- 5 – эпитаксиальный слой InAs; 6 – подложка InAs, легированная серой

Способ изготовления ФД-мишени включает в себя такие основные технологические этапы, как:

- создание знаков совмещения в подложке InAs при помощи фотолитографии и травления;

- имплантация кремния для создания стоп-областей;
- ионная имплантация бериллия для создания  $p$ -областей фотодиодов;
- нанесение капсулирующей плёнки  $\text{SiO}_2$  низкотемпературным пиролизом моносилана;
- активационный отжиг;
- формирование изолирующего слоя (анодный окисел +  $\text{SiO}_x$ ) и напыление омических контактов (Cr+Au(Zn)).

Легирование подложки арсенида индия кремнием является достаточно редким и малоизученным технологическим процессом, однако, из источников известно, что в большинстве случаев атомы примеси элементов 4 группы локализуются в одной из подрешёток соединения  $A^3B^5$ . В арсениде индия атомы кремния замещают только атомы индия и являются донорами. Кремний был выбран для создания  $p$ -областей вместо более популярных для легирования серы, селена и теллура, поскольку не вносит в вакуумные установки значительных загрязнений в отличие от перечисленных веществ. Для создания  $p$ -областей в качестве легирующего вещества был выбран бериллий, поскольку при замещении им атомов индия кристаллическая решетка эпитаксиального слоя деформируется незначительно.

Выбор низкотемпературного пиролиза моносилана в качестве способа формирования капсулирующей плёнки, предназначенной для защиты полупроводниковых структур в процессе активационного отжига примеси, обоснован несколькими ключевыми факторами:

1. Низкотемпературный пиролиз моносилана позволяет осуществлять процесс осаждения в диапазоне температур, который минимизирует термическое воздействие на подложку и активные элементы полупроводниковой структуры. Температуры, используемые в процессе низкотемпературного пиролиза, как правило, находятся в пределах от 200 °C до 300 °C. Это существенно ниже температур, при которых могут происходить нежелательные изменения в структуре полупроводниковых материалов, такие как диффузия примесей или изменение кристаллической структуры из-за десорбции компонентов мишени.

2. С точки зрения кинетики реакции, низкотемпературный пиролиз позволяет добиться более равномерного распределения атомов кремния и кислорода в образующейся плёнке, что способствует улучшению механических свойств и адгезии плёнки к подложке, получению однородной и плотной плёнки.

3. Применение низкотемпературного пиролиза моносилана соответствует современным требованиям к экологической безопасности и энергоэффективности процессов. Использование этого метода позволяет снизить энергозатраты на синтез плёнок и минимизировать выбросы вредных веществ в атмосферу.

Диэлектрические слои на InAs с требуемыми диэлектрическими свойствами и наименьшими значени-

ями величины положительного эффективного заряда на границе InAs-диэлектрик создаются методом анодного окисления с добавлением в электролит фторсодержащей компоненты, позволяющей внедрять в растущую анодную окисную пленку (АОП) атомы фтора, компенсирующие встроенный заряд вблизи границы раздела InAs-АОП, вызванный наличием ловушек для дырок, и таким образом уменьшают сумму зарядов, встроенных в защитный диэлектрический слой у границы с полупроводником. Данная технология обеспечивает устранение поверхностных токов утечки и взрывных шумов туннельного типа, а также увеличение пробивного напряжения [4].

По сравнению с выпускаемым в настоящее время прибором у ФПУ с ФД-мишенью большинство характеристик будет значительно улучшено. Можно выделить следующие преимущества ФД-мишени по сравнению с мишенью на основе структуры InAs-PbS-CdTe, которая используется сейчас:

- 1) снижение собственных темновых токов и, следовательно, повышение предельного значения рабочей температуры ФПУ;
- 2) отсутствие чувствительности к фоновой засветке с обратной стороны, что дает возможность использования термокатода большей мощности и отказа от нанесения отражающего покрытия на стеклянную колбу прибора;
- 3) возможность увеличения времени накопления вследствие уменьшения тока мишени, что повышает чувствительность ФПУ;
- 4) повышение квантового выхода благодаря двойному прохождению падающего излучения в чувствительном слое при переотражении от металлических электродов;
- 5) увеличение однородности сигнала по полю за счет расширения вольтамперной характеристики мишени;
- 6) повышение допустимой температуры мишени при вакуумной обработке прибора, что приведет

к улучшению вакуума и, значит, к повышению долговечности ФПУ;

7) повышение процента выхода годных и снижение числа дефектных элементов за счет более стабильных и лучше контролируемых технологических процессов изготовления мишени;

8) долговременная стабильность характеристик.

### **Заключение**

В настоящее время в АО «ЦНИИ «Электрон» ведётся работа по изготовлению тестовых образцов разрабатываемой ФД-мишени, использование которой значительно улучшит характеристики видикона, чувствительного в инфракрасной области. После исследования полученных образцов в будущем будут представлены выводы об эффективности разработанной технологии и результаты её применения в ИК ФПУ.

### **Литература:**

1. Кульчицкий Н.А., Наумов А.В., Старцев В.В. «Матричные фотоприемные устройства ИК-диапазона: «постпандемические» тенденции развития. Часть I» // Фотоника. – 2020. – Т. 14. – № 3. – С. 234-245.
2. Гершберг А.Е. «Передающие телевизионные трубки, использующие внутренний фотоэффект» – Энергия, 1964.
3. Ковтонюк Н.Ф., Мисник В.П., Соколов А.В. «Видиконы, чувствительные в средней инфракрасной области спектра с фотомишенями на структурах полупроводник-диэлектрик» // Прикладная физика. – 2005. – № 6. – С. 134-141.
4. Артамонов А.В. и др. «О природе изменения эффективного поверхностного заряда на кристаллах InAs при выращивании анодного оксидного слоя» // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. – 2019. – Т. 20. – № 2. – С. 129-133.

УДК 621.383

РАЗРАБОТКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТРИЧНОГО  
КМОП-ФОТОПРИЕМНИКАDEVELOPMENT AND RESEARCH RESULTS OF A MATRIX  
CMOS PHOTODETECTOR

**Баталов К.С.**, заместитель начальника отдела, **Татаурщиков С.С.**, к. т. н., генеральный конструктор, **Егоренков А.А.**, начальник отдела, **Челышков С.Н.**, инженер 2 категории, **Вязников А.Н.**, генеральный директор, АО «ЦНИИ «Электрон», +7 (812) 297-82-49 (доб. 336), k.batalov@niielectron.ru

**Batalov K.S.**, deputy department head, **Tataurshchikov S.S.**, Ph.D. of Engineering Sciences, general engineer, **Egorenkov A.A.**, department head, **Chelyshkov S.N.**, engineer of the 2nd category, **Vyaznikov A.N.**, general director, JSC Central Research Institute Elektron, +7 (812) 297-82-49 (ext. 336), k.batalov@niielectron.ru

**Аннотация:** в статье представлены предварительные результаты разработки и исследования матричного КМОП-фотоприемника. Приведены основные параметры и режимы работы прибора. Рассмотрены конструктивные особенности двух модификаций устройства, проанализированы их технические характеристики и преимущества.

**Annotation:** the article presents the preliminary results of the development and research of a matrix CMOS photo-detector. The main parameters and operating modes of the device are given. The design features of two modifications of the device are considered; their technical characteristics and advantages are analyzed. Special attention is paid to the issues of import substitution and the organization of domestic production of critical components.

**Ключевые слова:** матричный КМОП-фотоприёмник, затвор, импортозамещение.

**Keywords:** CMOS image sensor, Global Shutter, Import Substitution.

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

## Введение

За последние два десятилетия твердотельные фотоприемники претерпели значительную эволюцию: от ПЗС-схем с уникальной, но технологически ограниченной базой к современным КМОП-фотоприемникам, которые производятся по технологиям, близким к стандартным, на множестве кремниевых фабрик по всему миру [1]. В ПЗС-схемах пакеты зарядов коммутируются в теле кристалла и преобразуются в напряжение только на выходном устройстве [2, 3]. Данная технология, несмотря на высокое качество получаемых изображений, имеет ряд существенных ограничений, связанных с высоким энергопотреблением, сложностью управления и ограниченной скоростью считывания информации.

В отличие от ПЗС-технологии, в КМОП-схемах с активной пиксельной ячейкой преобразование заряда в напряжение происходит непосредственно в каждой ячейке фотоматрицы, и на выход коммутируются уже аналоговые или цифровые сигналы по металлизированным шинам, без необходимости переноса заряда через весь кристалл [4, 5]. Это принципиальное отличие обеспечивает КМОП-технологии ряд неоспоримых преимуществ, включая более низкое энергопотребление, возможность произвольного считывания отдельных областей матрицы, интеграцию дополнительных функций на кристалл и существенное увеличение быстродействия.



Баталов К.С.



Татаурщиков С.С.



Егоренков А.А.



Челышков С.Н.



Вязников А.Н.

Актуальность разработки отечественного матричного КМОП-фотоприемника обусловлена необходимостью обеспечения технологической независимости в области создания элементной базы для систем видеонаблюдения, медицинской диагностики, научных исследований и промышленной автоматизации.



### Основная часть

Разработанный матричный фотоприемник представляет собой сложное многофункциональное устройство, выполненное в двух конструктивных модификациях, ориентированных на различные применения и условия эксплуатации. Выбор архитектуры и элементной базы осуществлялся с учетом требований импортозамещения и возможности организации полного производственного цикла на отечественных предприятиях.

Первая модификация устройства включает в себя:

- кристалл с высокочувствительной матрицей фоточувствительных элементов формата 2048×2048;
- кристалл аналого-цифрового преобразователя (далее – АЦП);
- металлокерамическое основание с 84 выводами формата PGA;
- входное окно.

Вторая модификация представляет собой более компактное и экономичное решение, включающее:

- кристалл с матрицей фоточувствительных элементов формата 2048×2048;
- металлокерамическое основание с 68-выводами формата QFN;
- входное окно.

Конструкция корпуса обеих модификаций обеспечивает вакуумплотность. Показатель натекания оснований по гелию не более  $1 \cdot 10^{-6}$  тор · л · с<sup>-1</sup>, корпус выдерживает изменение температуры в широком диапазоне, устойчив к вибрационным и ударным нагрузкам, что существенно расширяет возможные области применения прибора.

Модификация 1 (рис. 1 а) выполнена в корпусе PGA84. Все контакты кристаллов КМОП и АЦП выведены отдельно, что обеспечивает возможность подачи управляющих напряжений и чтения выходных

узлов с кристаллов КМОП-матрицы и АЦП независимо друг от друга. Такое решение предоставляет разработчикам систем максимальную гибкость, позволяя использовать компоненты независимо друг от друга, реализовывать различные режимы работы и проводить тестирование отдельных узлов. Размер фоточувствительной области составляет 10,85×10,85 мм, что при размере пикселя 5,3 мкм обеспечивает высокую плотность размещения чувствительных элементов. Габаритные размеры изделия 33,0×33,0×14,5 мм позволяют интегрировать его в большинство стандартных оптических систем.

Модификация 2 (рис. 1 б) выполнена в корпусе QFN68. Значительно уменьшенные габаритные размеры 20×20×4 мм при сохранении фоточувствительных характеристик (за исключением наличия цифрового выхода передачи данных) делают эту модификацию идеальным решением систем с жесткими ограничениями по занимаемому объему. Размер фоточувствительной области идентичен первой модификации и составляет 10,85×10,85 мм.

Важнейшим аспектом разработки стало использование отечественной технологической базы. Фотоприемник разработан под технологическую базу АО «Микрон» по технологии HCMOS8D с проектными нормами 180 нм, что позволяет организовать полный производственный цикл внутри страны. Этот фактор является одним из ключевых преимуществ разработанного прибора, обеспечивая не только технологическую независимость, но и стабильность поставок, контролируемое качество и возможность оперативной модификации конструкции под требования заказчика.

Основные параметры фотоприемника, подтвержденные в ходе предварительных испытаний, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики прибора

Наименование параметра, единица измерения	Значение
Количество фоточувствительных элементов, шт.	2048×2048
Размер фоточувствительной ячейки, мкм	5,3×5,3
Рабочие диапазоны спектральной чувствительности, мкм	0,4÷0,9
Динамический диапазон, не менее, дБ	45
Частота кадров, не более, Гц	50
Диапазон рабочих температур, °С	от минус 60 до плюс 50
Тип затвора	Global
Количество эффективный разрядов АЦП, бит*	12
Потребляемая мощность, не более, Вт	1
* для модификации 1	

Разработка КМОП-матрицы основывалась на результатах предыдущих исследований и успешных испытаний КМОП-матрицы формата 1280×1024 [6], что позволило значительно сократить сроки разработки

и минимизировать технические риски. Накопленный опыт проектирования и тестирования аналогичных устройств был использован при создании новой матрицы большего формата.

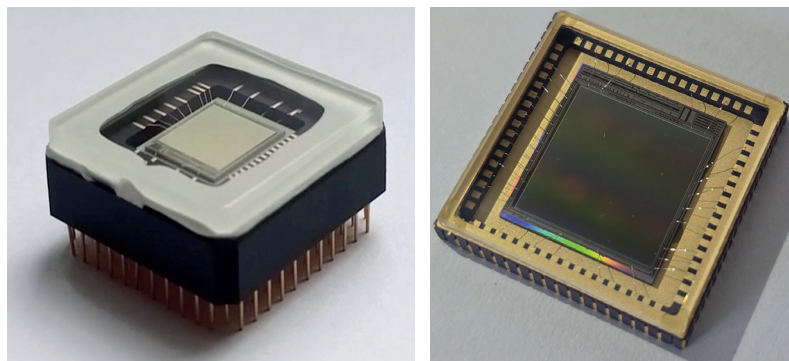


Рис. 1. Внешний вид фотоприемника:  
а – Модификация 1; б – Модификация 2

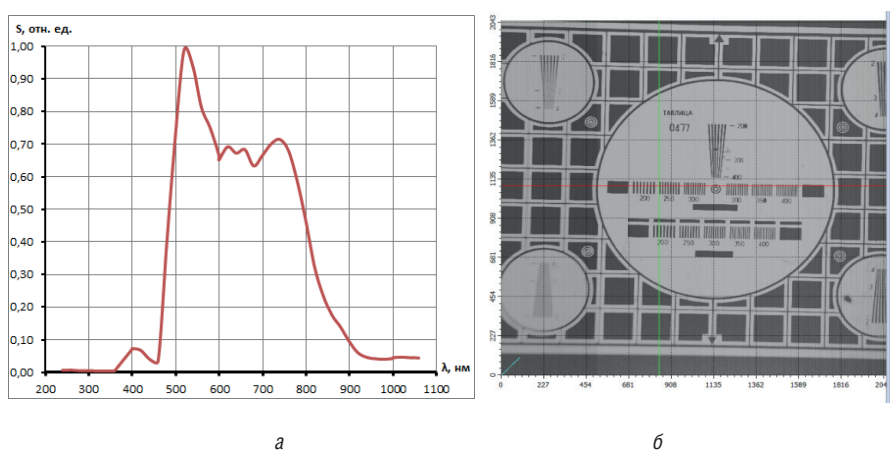


Рис. 2. Результаты тестирования фотоприемника:  
а – относительная спектральная характеристика; б – изображение ТВ таблицы

Кристалл АЦП, разработанный для данного проекта, также спроектирован под технологию 180 нм (НСМOS8D, АО «Микрон»), что обеспечивает полную совместимость с основным фоточувствительным КМОП-кристаллом и позволяет организовать их совместное производство на одной технологической линии. АЦП конвейерного типа имеет архитектуру с 4 входными и 4 выходными каналами, а использование интерфейса вывода данных LVDS гарантирует устойчивую передачу данных на высоких скоростях в условиях электромагнитных помех.

На рис. 2 представлены первые результаты запуска и тестирования опытных образцов фотоприемника. Полученные данные подтверждают соответствие основных параметров проектным значениям и демонстрируют хороший потенциал для дальнейшего совершенствования устройства. Измеренная относительная спектральная характеристика показывает равномерную чувствительность в заявленном диапазоне длин волн с пиком в зеленой области спектра, что соответствует типичной спектральной чувствительности кремниевых фотодетекторов.

В настоящее время проводятся предварительные испытания опытных образцов. На основании полученных результатов будут проведены корректировки то-

пологической информации для устранения выявленных ошибок и дальнейшего улучшения параметров фотоприемника.

### Заключение

Проведенные исследования подтвердили, что разработанный матричный КМОП-фотоприёмник по ключевым параметрам не уступает зарубежным доступным аналогам. Использование технологии global shutter обеспечивает одновременное экспонирование всех пикселей матрицы, что исключает искажения при съемке быстро движущихся объектов. Благодаря высокой частоте кадров, система способна эффективно расширять динамический диапазон за счет многократного считывания с различными временами экспозиции без потери данных, при этом для каждого кадра можно индивидуально настраивать период накопления заряда.

Практическое применение разработанного фотоприемника весьма перспективно и многогранно. Он отлично подойдет для систем видеонаблюдения и контроля, в системах промышленной автоматизации машинного зрения, в медицинской диагностической аппаратуре. Его способность фиксировать быстротекущие процессы с высоким простран-

ственным разрешением делает его незаменимым инструментом для регистрации динамических событий в различных областях науки и техники.

Дальнейшие работы будут направлены на оптимизацию технологического процесса, расширение спектрального диапазона, а также на разработку специализированных версий прибора для конкретных потребителей. Рассматривается возможность размещения прибора в пластиковом корпусе с целью выхода на более широкий рынок гражданской продукции. В настоящее время отрабатывается технология создания фотоприемников с обратной засветкой (BSI) на «АО «ЦНИИ Электрон», которая в дальнейшем будет масштабирована в том числе на данное изделие. Успешная реализация данного проекта создает прочную основу для развития отечественной школы проектирования и производства сложных микросхем фотоприемников и способствует укреплению технологического суверенитета страны в области критичных компонентов.

#### **Благодарность**

Авторы выражают благодарность Д.В. Бородину и М.М. Пилипко за внесение огромного вклада в разработку устройства.

#### **Литература**

1. Holst G.C., Lomheim T.S. «CMOS/CCD Sensors and Camera Systems». SPIE Press, 2011. - 458 p.
2. Лазовский Л. «Приборы с зарядовой связью: прецизионный взгляд на мир». СПб.: АВТЭК. 2008.
3. Степанов Р.М. «Телевизионные фотоэлектронные приборы». СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 192 с.
4. Белоус Д.А., Пучка Е.Ю., Баранов П.С., Манцветов А.А. «Пороговая чувствительность ПЗС и КМОП сенсоров при различных спектральных характеристиках источников света» // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2017. № 4. С. 9-15.
5. Бородин Д.В., Осипов Ю.В., Васильев В.В. «Отечественные матричные КМОП фотоприемники». Труды НИИСИ РАН, 2017 г, т. 7, № 2, С. 74-77.
6. Бородин Д.В., Осипов Ю.В., Васильев В.В. «Микросхема КМОП фотоприемника видимого диапазона формата 1280×1024 с размером ячейки 13×13 мкм». Прикладная физика, 2016, № 2, С. 76-81.

УДК 658.562

### **ОДИН ИЗ ВАРИАНТОВ МЕТОДИКИ СКВОЗНОГО КОНТРОЛЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПОСТАВЩИКА ЭКБ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРОЦЕДУРЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ ЗАКУПАЕМОЙ И ПОСТАВЛЯЕМОЙ ПРОДУКЦИИ**

### **AN OPTION FOR CHECKING THE DEPARTMENTS OF SUPPLIERS OF ELECTRONIC COMPONENTS TO COMPLY WITH THE IDENTIFICATION AND TRACKING PROCEDURES FOR PURCHASED AND SHIPPED PRODUCTS**

**Шведов А.В.**, заместитель генерального директора по качеству,  
ООО «ВИТАЛ ЭЛЕКТРОНИКС ВП», +7 (812) 325-97-92, shvedov@vital-ic.com

**Shvedov A.V.**, Director of Quality, VITAL ELECTRONICS VP LLC;  
+7 (812) 325-97-92, shvedov@vital-ic.com

**Аннотация.** в статье рассмотрены вопросы реализации требований руководящего документа ЭС РД 010-2020 в части разработки и совершенствования методики сквозного контроля подразделений по выполнению процедуры идентификации и прослеживаемости закупаемых и поставляемых изделий электронной компонентной базы с этапа получения заявки от потребителя до отгрузки.

**Annotation.** the article discusses the implementation of the requirements of the ES RD 010-2020 guidance document regarding actions to develop and improve end-to-end control methods for departments to perform identification and traceability procedures for purchased and supplied electronic components, starting from the stage of receiving an application from the consumer and ending with shipment.

**Ключевые слова:** система менеджмента качества; поставщики электронной компонентной базы; идентификация; прослеживаемость.

**Keywords:** quality management system; suppliers of electronic component base; identification; traceability.

**Научная специальность:** 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства (Технические).

## Введение

В соответствии с требованиями руководящего документа [1] служба качества поставщика электронной компонентной базы (далее – ЭКБ) должна провести работы по разработке методики сквозного контроля подразделений по выполнению процедуры идентификации и прослеживаемости закупаемых и поставляемых изделий ЭКБ с этапа получения заявки от потребителя до отгрузки (далее – Методика). Такая проверка должна проводиться не реже 1 раза в месяц с оформлением протокола результата проверки [2].

Данную проверку необходимо рассматривать как один из инструментов профилактических мер по оперативному выборочному контролю за соблюдением на предприятии требований [1] к организации и функционированию системы идентификации и прослеживаемости закупаемых и поставляемых изделий ЭКБ при осуществлении деятельности по закупке, хранению и поставке продукции [2,3].

Как следует из опыта проведения внешних и внутренних аудитов (проверок) поставщиков ЭКБ можно столкнуться с тем, что реализация данного требования носит формальный характер, при этом выявляются следующие несоответствия:

- «в нормативной документации системы менеджмента качества (далее – СМК) не конкретизированы требования, предъявляемые к порядку проведения проверки, проводимой в рамках сквозного контроля подразделений по выполнению процедуры идентификации и прослеживаемости закупаемых и поставляемых изделий ЭКБ»;
- «в нормативной документации СМК не установлены цели и объекты проверки, проводимой в рамках сквозного контроля подразделений по выполнению процедуры идентификации и прослеживаемости закупаемых и поставляемых изделий ЭКБ».

В качестве оперативной формы контроля процедуры идентификации и прослеживаемости закупаемой и поставляемой ЭКБ, может быть применена методическая разработка, приведенная в настоящей статье.

## Основная часть

Обеспечение прослеживаемости закупаемой и поставляемой продукции, у поставщиков ЭКБ, достигается за счет [1,3,4,5]:

- идентификации ЭКБ, путем оформления этикеток (пункт 12.3 ж) [1]), сопроводительной отгрузочной документации с учетом требований контракта (договора) на поставку ЭКБ и требований пункта 14.7.1 [1];
- наличия необходимой сопроводительной документации на ЭКБ, полученной от внешнего поставщика, определенной с учетом требова-



Шведов А.В.

ний контракта (договора) на закупку (поставку) ЭКБ и требований пункта 14.7.1 [1];

- идентификации выходов и статуса выходов процессов, определенных в функциональной структуре СМК поставщика, охватывающих деятельность по закупке, хранению, входному контролю и поставке ЭКБ;
- обеспечения последовательной регистрации данных об изделиях ЭКБ в учетной документации, в соответствии с порядком, установленным в организации (в журналах учета, в электронных базах, применяемых организациями и т. д.) на всех этапах обращения с изделиями ЭКБ поставщиком, с момента получения заявки на поставку до отгрузки потребителю;
- проведения фотофиксации ЭКБ при приеме изделий на склад и входном контроле.

Нельзя не отметить, что результативное обеспечение идентификации и прослеживаемости ЭКБ, позволяет поставщикам не только установить состояние соответствия продукции её описанию в документации при закупке, входном контроле ЭКБ, хранении и отгрузке [1,4,5], но также играет большую роль при проведении претензионной и рекламационной работы с потребителями и внешними поставщиками (изготовителями) продукции, так как прежде чем рассмотреть претензию или рекламационный акт необходимо понять принадлежит ли данная продукция к той, которая была отгружена поставщиком потребителю.

Целями проведения проверок, в рамках сквозного контроля подразделений поставщика ЭКБ по выполнению процедуры идентификации и прослеживаемости закупаемой и поставляемой продукции (далее – Проверка), являются [1,4,6]:

- оперативный контроль за соблюдением на предприятии требований внутренней нормативной документации СМК, разработанной с учетом требований ГОСТ Р ИСО 9001, ГОСТ РВ 0015–002, ГОСТ РВ 0020–57.412, ЭС РД 009, ЭС РД 010 применительно к процедуре идентификации и прослеживаемости закупаемой и поставляемой ЭКБ с момента получения заявки на поставку до отгрузки продукции потребителю;
- предупреждение несоответствий, связанных с нарушением обеспечения идентификации и прослеживаемости закупаемой и поставля-



- емой продукции;
- подготовка к проведению квалификации поставщика ЭКБ на соответствие требованиям руководящего документа [1].

Проверке подвергаются [1,6]:

- данные о закупленной у внешнего поставщика (изготовителя) и отгруженной потребителю ЭКБ отечественного и иностранного производства, производства стран Содружества Независимых Государств (далее – ЭКБ ОП, ЭКБ ИП, ЭКБ СНГ);
- порядок ведения документов и регистраций по закупаемой и поставляемой ЭКБ;
- соблюдение последовательности установленных технологических процессов и операций при обращении с изделиями ЭКБ, установленными в нормативной документации СМК (закупка, приемка продукции на склад, входной контроль ЭКБ, в том числе на наличие (отсутствие) признаков контрафактной (фальсифицированной) продукции, упаковка, организация испытаний (при необходимости), отгрузка);
- данные об условиях хранения (параметрах микроклимата в помещении склада) закупаемой и поставляемой продукции;
- порядок изъятия несоответствующей (забракованной) продукции, её учет и хранение в изоляторе брака;
- устранения замечаний и несоответствий, выявленных по результатам предыдущих Проверок.

Данная форма контроля может проводиться также для изделий ЭКБ, на которые получены претензии и рекламации от потребителя.

Проверке подвергаются все подразделения (должностные лица) участвующие в деятельности по закупке, хранению и поставке ЭКБ в соответствии с организационной структурой СМК организации [1].

Управление Проверками можно представить в виде ряда последовательных этапов по циклу PDCA (Plan-Do-Check-Act (планируй-делай-проверяй-корректируй) [7]:

1. Планирование Проверок
2. Проведение Проверок
3. Анализ результатов и подготовка протокола о проведенных Проверках
4. Разработка и реализация необходимых корректировок и (или) корректирующих действий (мер) по результатам Проверок (при необходимости)
5. Мониторинг и оценка результатов корректировок и (или) корректирующих действий (мер)
6. Подготовка итоговой отчетности о проведенных Проверках за год

Основанием для планирования и проведения Проверок является приказ генерального директора об организации на предприятии Проверок на год. В при-

казе отражают цели Проверок и состав комиссии, за действованной в проведении Проверок.

Планирование Проверок осуществляется посредством оформления годового графика проведения Проверок. Проверки необходимо проводить один раз в месяц, для закупаемой и поставляемой ЭКБ ОП, ЭКБ СНГ, ЭКБ ИП (в зависимости от области квалификации и объема поставляемой продукции), с учетом принципов объективности, беспристрастности, независимости, профессионализма, конфиденциальности и риск-ориентированного подхода [7]. Рекомендуется проводить Проверки до 20 числа текущего месяца.

Проверки проводит комиссия в составе:

- председатель комиссии;
- члены комиссии.

Комиссия формируется из руководящего состава организации, с учетом личных качеств, образования и опыта работы в сфере закупок, хранения и поставок ЭКБ. Председателем комиссии, как правило назначают заместителя генерального директора по качеству (представителя руководства по качеству). В состав комиссии следует включать сотрудников, задействованных и участвующих при внутренних аудитах (проверках).

На предприятии следует установить следующие виды Проверок:

- плановые, которые предусмотрены годовым графиком Проверок;
- внеплановые, предпринятые при появлении несоответствий в деятельности подразделений (должностных лиц) при оказании услуг по закупке, хранению и поставке ЭКБ.

Проведение Проверки осуществляется в следующем порядке.

Комиссия при подготовке к проверке изучает результаты предыдущих проверок, осуществляет методом случайной выборки отбор заявок и изделий ЭКБ для проведения проверки сквозной идентификации и прослеживаемости. При этом выбирается одна заявка на поставку ЭКБ и одна из позиций, указанных в заявке, с учетом, что изделия ЭКБ отгружены потребителю (для каждого вида ЭКБ ОП, ЭКБ ИП, ЭКБ СНГ), в зависимости от области квалификации и объема поставляемой продукции).

В день проверки с руководителями проверяемых подразделений и должностными лицами проводится установочное совещание, на котором доводятся цели, объем и объекты проверки (заявки и изделия ЭКБ (позиции в заявке) по которым будет проведена Проверка), проводится обсуждение и уточнение отдельных деталей предстоящей Проверки.

Далее комиссией в подразделениях и на рабочих местах проверяются [1,3,4]:

- порядок регистрации документов и данных о закупаемой и поставляемой продукции и установление соответствия системы иден-

Подразделения (должностные лица)	Документы и данные подлежащие Проверке
Отдел поставок	<ul style="list-style-type: none"> <li>заявка на поставку ЭКБ от потребителя (дата, регистрационный номер, наименование организации-потребителя, перечень ЭКБ);</li> <li>анализ возможности выполнения заявки;</li> <li>данные по оценке рисков;</li> <li>формирование заявки на закупку ЭКБ;</li> <li>проверка ЭКБ по Перечню ЭКБ 01-22 (для ЭКБ ОП, ЭКБ СНГ);</li> <li>договор (контракт) с потребителем;</li> <li>предмет договора (идентификатор государственного контракта, если поставка осуществляется для обеспечения государственного оборонного заказа);</li> <li>номер и дата счета, выставленного потребителю;</li> <li>сведения об исполнителях работ</li> </ul>
Отдел закупок	<ul style="list-style-type: none"> <li>данные о выборе внешнего поставщика ЭКБ;</li> <li>заявка на закупку ЭКБ (дата, регистрационный номер, наименование организации-внешнего поставщика ЭКБ, перечень изделий ЭКБ);</li> <li>данные по оценке рисков;</li> <li>договор (контракт) с внешним поставщиком ЭКБ;</li> <li>сведения по формированию сквозных планов-графиков поставки ЭКБ (для ЭКБ ОП, ЭКБ СНГ);</li> <li>сведения об исполнителях работ</li> </ul>
Склад	<ul style="list-style-type: none"> <li>прием ЭКБ на склад (сопроводительные документы);</li> <li>размещение ЭКБ на складе (номер стеллажа, полки, ячейки);</li> <li>соблюдение условий хранения ЭКБ;</li> <li>отгрузка ЭКБ со склада (сопроводительные документы);</li> <li>сведения об исполнителях работ</li> </ul>
Служба качества	<ul style="list-style-type: none"> <li>сведения о проведении входного контроля ЭКБ;</li> <li>данные об изготовителе ЭКБ, дате производства, номере партии;</li> <li>фотоматериалы входного контроля;</li> <li>данные о наличии (отсутствии) признаков контрафактной (фальсифицированной) продукции;</li> <li>сведения о проводимых испытаниях и исследованиях;</li> <li>данные об упаковке ЭКБ (для ЭКБ чувствительной к влажности);</li> <li>сведения о работах, по несоответствующей ЭКБ;</li> <li>данные о претензионной и рекламационной работе (если такая работа проводилась);</li> <li>сведения об исполнителях работ</li> </ul>

Рис. 1 Схема взаимодействия подразделений (должностных лиц) поставщика ЭКБ по обеспечению системы идентификации и прослеживаемости закупаемой и поставляемой продукции

- тификации и прослеживаемости изделий;
- работа персонала по обеспечению выполнения заявки потребителя на поставку ЭКБ;
  - для ЭКБ ОП и ЭКБ СНГ необходимо отдельно проверить работы по формированию сквозных планов-графиков поставки ЭКБ, которые должны разрабатываться квалифицированными поставщиками ЭКБ в соответствии с требованиями [1].

На рис. 1 представлена схема взаимодействия подразделений (должностных лиц) поставщика ЭКБ по обеспечению системы идентификации и прослеживаемости закупаемой и поставляемой продукции [1,3,4,5,8] (наименования подразделений приведены условно для примера).

Сбор информации при проведении Проверки производится посредством опроса персонала и рассмотрения необходимой документированной информации.

Результаты Проверки оформляются комиссией в виде протокола на основании документов и данных, приведенных в схеме на рис. 1.

При обнаружении несоответствий в результате проведения Проверки планируются и реализуются соответствующие коррекции и (или) корректирующие действия (меры). Работы по управлению несоответствиями, коррекциями и корректирующими действиями (мерам) проводятся в соответствии с порядком, установленным организацией.

Мониторинг и оценка результатов коррекций

и (или) корректирующих действий (мер) проводится при последующих Проверках.

Результаты Проверок, проведенных за год, как плановых, так и внеплановых обобщаются Службой качества и оформляются в виде итогового отчета, который в общем случае содержит:

- данные о выполнении графика Проверок;
- данные об устранении замечаний и несоответствий (при выявлении);
- рекомендации по совершенствованию процедуры и системы идентификации и прослеживаемости;
- выводы о соответствии/несоответствии системы идентификации и прослеживаемости в организации.

Сведения о проведенных Проверках следует рассматривать на заседаниях Совета по качеству и производственных совещаниях. Отметим, что формальный подход к проведению Проверок может усугубить проблемы, имеющиеся в СМК поставщика ЭКБ, в частности в системе обеспечения идентификации и прослеживаемости, что в конечном итоге негативно отразится на деятельности по закупке, хранению и поставке ЭКБ [9].

### Заключение

Использование Методики, приведенной в данной публикации, позволит снизить вероятность возникновения рисков, связанных с ошибками при идентификации и прослеживаемости объектов, при осуществлении поставщиками ЭКБ деятельности по закупке, входному контролю, хранению и поставке продукции.

### Литература:

1. ЭС РД 010-2020. Требования к поставщикам электронной компонентной базы и порядок их квалификации»
2. Подъяпольский С.Б., Косенюк В.М. Новое в требованиях ЭС РД 010–2020 «Требования к постав-

щикам электронной компонентной базы и порядок их квалификации». // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2021. № 1. С. 30-31

3. Подъяпольский С.Б., Булгаков О.Ю. Методические рекомендации и требования к порядку проведения выездных проверок квалифицированных поставщиков ЭКБ // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2023. № 1 (13). С. 34-35.
4. ЭС РД 009-2023. Дополнительные требования к системе менеджмента качества организаций-поставщиков электронной компонентной базы военного и двойного назначения»
5. Шведов А.В. «Совершенствование процесса входного контроля электронной компонентной базы, поставляемой для аппаратуры широкого спектра назначения». // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2024. № 4 (16). С. 31-36
6. ОСТ В 84-1836–80 «Комплексная система контроля качества. Контроль качества продукции в процессе производства. Общие положения».
7. ГОСТ РВ 0015-003-2024 «Система разработки и постановки на производство военной техники. Порядок проверки систем менеджмента качества организаций, поставляющих военную продукцию»
8. Подъяпольский С.Б., Булгаков О.Ю., Осипова Е.М. «О некоторых аспектах распространения электронной продукции в радиоэлектронной отрасли». // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2022. № 3 (7). С. 4-7
9. Шведов А.В. «Практические моменты проведения внутренних аудитов системы менеджмента качества поставщиков электронной компонентной базы». // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2024. № 2 (14). С. 27-30





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 «ЭЛЕКТРОН СЕРТИФИКА»



### СЕРТИФИКАЦИЯ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

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



### МЕТОДИЧЕСКИЕ УСЛУГИ

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



### ОБУЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ

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



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

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

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

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

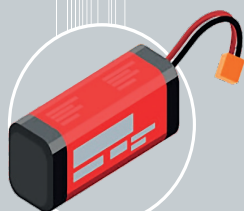
- мониторинг и развитие отрасли;
- интеграция технологий и производств;
- экспертиза (субсидии, параметры, проекты);
- межотраслевое взаимодействие;
- информационное обеспечение;
- нормотворчество;
- меры поддержки производителей;
- использование РИД и патенты;
- кадры и образование;
- сертификация и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

**ПРИГЛАШАЕМ К  
СОТРУДНИЧЕСТВУ!**

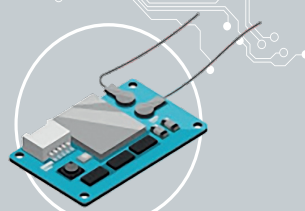


141002, Московская область, г.о. Мытищи, г. Мытищи, ул. Колпакова, д. 2А  
+7 (495) 586-17-21 доб. 1434, 1404; e-mail: [vniir@vniir-m.ru](mailto:vniir@vniir-m.ru), сайт: [vniir-m.ru](http://vniir-m.ru)

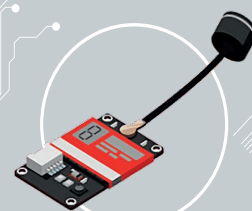




1 АККУМУЛЯТОРНАЯ  
БАТАРЕЯ



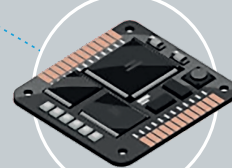
2 ПРИЁМНИК  
УПРАВЛЕНИЯ (МОДЕМ)



3 ВИДЕОПЕРЕДАТЧИК



4 FPV-КАМЕРА  
И ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ МОДУЛЬ



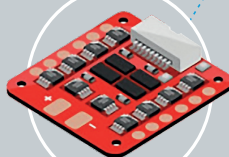
6 ПОЛЁТНЫЙ КОНТРОЛЛЕР



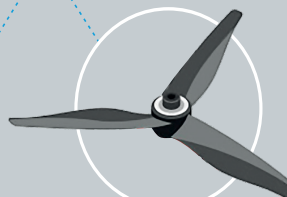
5 ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ



7 РАМА



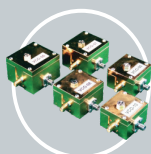
8 РЕГУЛЯТОР ОБОРОТОВ (ESC)



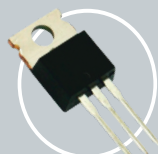
9 ВИНТ ВОЗДУШНЫЙ



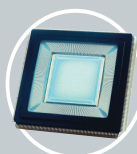
МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ



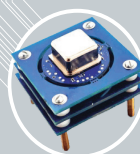
СВЧ  
ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ  
ПРИБОРЫ



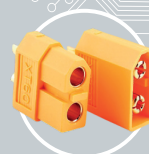
ИЗДЕЛИЯ  
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ  
СИГНАЛА



ОПТИЧЕСКОЕ  
ПРОИЗВОДСТВО



ДАТЧИКИ  
МЭМС



РАЗЪЁМЫ

ФГБУ «ВНИИР» проводит испытания составных частей и типовых конструкций беспилотных авиационных систем коптерного (FPV-дрон) и самолётного типа. Испытания комплектующих изделий проводится по типовым программам и методикам испытаний.  
141002, Московская область, г.о. Мытищи, г. Мытищи, ул. Колпакова, д. 2А  
+7 (495) 586-17-21 доб. 1434, 1404; e-mail: vniir@vniir-m.ru, сайт: vniir-m.ru

Контакт для связи:  
Сычев Владимир Станиславович

