

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Факультет инновационных технологий
Кафедра управления качеством

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК
Руководитель ООП
д-р техн. наук, профессор

В. Сырякин В.И. Сырякин
«19» июня 2023 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И
РЕНТГЕНОВСКОГО МИКРОТОМОГРАФА В КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА ПЕЧАТНЫХ
ПЛАТ

по направлению подготовки 27.03.02 Управление качеством
направленность (профиль) «Управление качеством в производственно-технологических
системах»

Цвингер Валерий Анатольевич

Руководитель ВКР
д-р техн. наук, профессор
В. Сырякин В.И. Сырякин
«17» июня 2023 г.

Автор работы
студент группы № 181902
В.А. Цвингер В.А. Цвингер
«17» июня 2023 г.



УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ООП, зав. кафедрой УК ФИТ
ТГУ, д. т. н., профессор

В.И. Сырямкин
2023 г.

ЭКСПЕРТНОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ о возможности опубликования

Рассмотрев материал – текст бакалаврской работы на тему «Оценка возможности применения нейронных сетей и рентгеновского микротомографа в контроле качества печатных плат», разработанный студентом группы №181902 факультета инновационных технологий Томского государственного университета Цвингером Валерием Анатольевичем, предназначенный для издания на сайте электронно-библиотечной системы НИ ТГУ, **подтверждаем:**

- в материале **содержится/ не содержится** информация с ограниченным доступом (Закон РФ «О государственной тайне», Перечни сведений, подлежащих засекречиванию, Минобрнауки РФ № 36с от 10.11.2014 г.), а также информация, подпадающая под действие Списков, контролируемых товаров, технологий, утвержденных Указами Президента РФ: от 14.02.1996 № 202, от 14.01.2003г. № 36, от 17.12.2001 № 1661, от 08.08.2001г. № 1005, от 28.08.2001г. № 1082, от 20.08. 2007 г. № 1083.);

- текст бакалаврской работы **содержит /не содержит** производственную, техническую, экономическую, организационную информацию и другие сведения, в том числе о результатах интеллектуальной деятельности в научно-технической сфере, о способах осуществления профессиональной деятельности, которые имеют действительную и/или потенциальную коммерческую ценность в силу неизвестности их третьим лицам.

Заключение: (выбор из 3)

разрешить открытую публикацию магистерской диссертации (бакалаврской работы) «Оценка возможности применения нейронных сетей и рентгеновского микротомографа в контроле качества печатных плат» магистранта (студента) Цвингера Валерия Анатольевича.

Научный руководитель, В. Сырякин д-р техн. наук, профессор, В. И. Сырямкин
(подпись) (ФИО)

Студент, В.А. Цвингер В. А. Цвингер
(подпись) (ФИО)

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа на тему «Оценка возможности применения нейронных сетей и рентгеновского 3D микротомографа в контроле качества печатных плат» содержит 52 страницы, 10 рисунков, 11 таблиц, 33 источника литературы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дефектоскопия, печатные платы, контроль качества, нейронные сети, рентгенография, неразрушающие методы контроля, автоматизация.

Актуальность исследуемой темы заключается в поиске возможностей для модернизации процессов неразрушающего контроля, посредством применения более точных и быстродействующих автоматизированных систем. Новизна исследуемой темы заключается в предложенных способах автоматизации.

Объект выпускной квалификационной работы – автоматизация неразрушающего контроля печатных плат.

Предмет выпускной квалификационной работы – применение нейронных сетей и рентгеновского микротомографа в контроле качества печатных плат.

Цель работы – разработка автоматизированного процесса контроля качества печатных плат.

Для достижения поставленной цели были выполнены следующие задачи: сравнить методы контроля качества печатных плат, изучить нейросетевые алгоритмы анализа изображений, изучить случаи и способы применения нейронных сетей в поиске дефектов, оценить целесообразность применения нейронных сетей, рентгеновского микротомографа в контроле качества печатных плат, разработать процесс контроля качества печатных плат с применением нейронных сетей и рентгеновского микротомографа, разработать рекомендации по внедрению автоматизированного процесса контроля качества.

В работе использовались следующие методы исследования: Анализ, моделирование, сравнение, наблюдение.

Работа состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка использованной литературы и приложений.

В первом разделе рассматривается процесс контроля качества печатных плат без применения нейросетевых методов контроля.

Во втором разделе исследуются способы, преимущества, целесообразность применения систем технического зрения и нейронных сетей в процессах контроля качества ПП, а также необходимые ресурсы для реализации данной технологии.

В третьем разделе анализируются ресурсы, необходимые для реализации проекта.

Четвёртый раздел содержит обобщение результатов анализа внедрения нейронных сетей в процессы контроля качества, а также разработанные рекомендации.

ANNOTATION

Graduate qualification work «Assessment of the possibility of using neural networks and X-ray 3D microtomography in the quality control of printed circuit boards» consists of 52 pages, 10 drawing, 11 tables, 33 reference and literature used.

Keywords: flaw detection, printed circuit boards, quality control, neural networks, radiography, non-destructive testing methods, automation.

The relevance of this topic the relevance of the topic under study lies in the search for opportunities for the modernization of non-destructive testing processes, through the use of more accurate and faster automated systems. The scientific novelty of the topic under study lies in the proposed methods of automation.

The object of the Graduate qualification work – automation of non-destructive testing of printed circuit boards.

The subject of the Graduate qualification work – application of neural networks and X-ray microtomography in the quality control of printed circuit boards.

The purpose of the work is the development of an automated process for quality control of printed circuit boards.

To achieve this goal, the following tasks were completed: to compare the methods of quality control of printed circuit boards, to study neural network algorithms for image analysis, to study cases and methods of using neural networks in the search for defects, to evaluate the feasibility of using neural networks, X-ray microtomography in the quality control of printed circuit boards, develop the process of quality control of printed circuit boards using neural networks and X-ray microtomography, develop recommendations for the implementation of an automated quality control process.

The following research methods were used in the work: Analysis, modeling, comparison, observation.

The work consists of an introduction, 4 sections, conclusion, list of references and applications.

The first section discusses the process of quality control of printed circuit boards without the use of neural network control methods.

The second section explores the methods, advantages, feasibility of using vision systems and neural networks in the quality control processes of software products, as well as the necessary resources for the implementation of this technology.

The third section analyzes the resources needed to implement the project.

The fourth section contains a summary of the results of the analysis of the implementation of neural networks in quality control processes, as well as the developed recommendations.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 Контроль качества печатных плат без применения нейронных сетей	8
1.1 Понятие печатных плат	8
1.2 Контроль качества печатных плат	9
1.3 Процесс контроля качества без использования программных средств.....	12
2 Способы, преимущества и целесообразность применения СТЗ, нейронных сетей и РМТ в процессе контроля качества печатных плат.....	17
2.1 Обоснование применения нейронных сетей в процессе контроля качества печатных плат	17
2.2 Обоснование выбора рентгеновского контроля	17
2.3 Обоснование применения РМТ в процессе контроля качества печатных плат	19
2.4 Использование СТЗ в контроле качества печатных плат	23
2.5 Процесс распознавания дефектов печатных плат с использованием нейросетей.....	26
2.6 Преимущества, недостатки и риски использования нейросетей в процессе контроля качества	29
2.7 Затраты на работника	31
3 Необходимые ресурсы	34
3.1 Таблица сравнения оборудования для реализации АОИ.....	34
3.2 Автоматическая система оценки изображения.....	35
3.3 Разработанный алгоритм системы поиска дефектов.....	37
4 Рекомендации.....	39
4.1 Система снятия изображения, для автоматической системы контроля, основанной на нейронных сетях	39
4.2 Экономическое обоснование	40
4.3 Готовность к внедрению	44
4.4 Рекомендации по реализации контроля качества печатных плат с помощью систем технического зрения.....	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	48
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ.....	49

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Object Detection (обнаружение объектов) – определение объекта на изображении или в видео потоке.

Архитектура нейронной сети – принципы и структура, в соответствии с которыми построена нейронная сеть, например число нейронов, входов/выходов.

Бинаризация – процесс перевода цветного изображения в черно-белое.

Вывод – элемент, с помощью которого, электронные компоненты крепятся к элементам проводящего рисунка.

Дефектоскопия – это процесс, позволяющий обнаруживать изъяны в различных конструкциях с помощью современного оборудования.

Ключ – знак, определяющий положение устанавливаемого на печатной плате изделия электронной техники.

Конструкторская документация – графические и текстовые документы, которые, в совокупности или в отдельности, определяют состав и устройство изделия и содержат необходимые данные для его разработки, изготовления, контроля, эксплуатации, ремонта и утилизации.

Нейронная сеть – математическая модель, а также её программное или аппаратное воплощение, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей — сетей нервных клеток живого организма.

Объект контроля – продукция (товары), процессы производства, транспортирования, хранения, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта, а также техническая и сопроводительная документация, которые подвергаются процессу контроля качества;

Операция – это часть производственного процесса. Обычно она выполняется на одном рабочем месте без переналадки оборудования и совершается при помощи набора одних и тех же орудий труда.

Печатная плата – пластина, состоящую из нескольких проводящих рисунков, которые расположены на поверхности диэлектрического основания, соединённые между собой в соответствии с электрической схемой.

Средства контроля – техническое устройство, вещество и/или материал, при помощи которых проводится контроль.

Узкое место – явление, при котором производительность или пропускная способность системы ограничена одним или несколькими компонентами, или ресурсами.

Шумы (на изображениях) – дефект изображения (шум), вносимый фотосенсорами и электроникой устройств, которые их используют (цифровой фотоаппарат, теле-

/видеокамеры и т. п.) вследствие несовершенства технологий, а также фотонной природы света.

Экспокоррекция – принудительное введение поправки в измеренную экспозицию для компенсации ошибок.

Эффект надгробного камня – это явление, когда типичный компонент для поверхностного монтажа, такой как резистор или конденсатор, частично поднимается одним концом с контактной площадки.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

SMT – автоматизированная линия поверхностного монтажа.

АОИ – автоматическая оптическая инспекция.

ВОК – визуально-оптический метод контроля.

НСП – несоответствующая продукция.

ОТК – отдел технического контроля.

ПО – программное обеспечение.

ПП – печатная плата.

РМТ – рентгеновский 3D микротомограф.

СТЗ – система технического зрения.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что модернизация процессов контроля качества печатных плат позволит избежать таких недостатков ручного (визуально-оптического) метода контроля, как: лёгкая утомляемость, невозможность найти внутренние или слишком мелкие дефекты без применения других методов контроля. Новизна исследуемой темы заключается в предложенных способах модернизации: применение нейронных сетей с целью поиска дефекта на слоях печатных плат.

Таким образом, применение автоматизированных систем поиска может найти широкое применение в отрасли производства печатных плат.

Объект выпускной квалификационной работы – автоматизация неразрушающего контроля печатных плат.

Исследованиями в этом направлении занимаются такие страны, как Китай, страны Европейского союза [1, 2]. Большая часть открытой информации по грантам подобной тематики указывает на следующие стадии реализации проектов:

- разработка алгоритмов,
- пополнение баз данных дефектов, дата-сетов для создания наиболее эффективной автоматизированной системы контроля качества ПП.

Отличием этой работы, является оценка целесообразности применения рентгеновского 3D микротомографа, и нейросетевых алгоритмов для дефектоскопии, как внешних, так и внутренних слоев ПП, а также разработка рекомендаций по внедрению данных технологий на предприятие.

Предмет выпускной квалификационной работы – применение нейронных сетей и рентгеновского микротомографа в контроле качества печатных плат.

Цель работы – разработка автоматизированного процесса контроля качества печатных плат.

Для достижения поставленной цели были выполнены следующие задачи:

- изучить методы контроля качества печатных плат;
- сравнить методы контроля качества печатных плат;
- изучить нейросетевые алгоритмы анализа изображений;
- изучить случаи и способы применения нейронных сетей в поиске дефектов, искажений;
- оценить целесообразность применения нейронных сетей, рентгеновского микротомографа в контроле качества печатных плат;

- разработать/описать процесс контроля качества печатных плат с применением нейронных сетей и рентгеновского микротомографа;
- разработать рекомендации по внедрению автоматизированного процесса контроля качества.

В работе использовались следующие методы исследования: анализ, моделирование, сравнение, наблюдение.

Значимость исследования состоит в поиске путей модернизации процессов контроля качества, а также оценке экономических затрат на реализацию этих путей.

1 Контроль качества печатных плат без применения нейронных сетей

1.1 Понятие печатных плат

Печатные платы – основа современной электроники.

По своим конструктивно-технологическим особенностям, печатные платы делятся на следующие классы:

- односторонние;
- двусторонние;
- многослойные;
- гибкие;
- проводные.

В основном, в массовое производство запускают односторонние, двусторонние, многослойные. Сложность поиска дефектов для любой из плат соответствует сложности топологии платы. А в случае с многослойными печатными платами, дефекты могут встречаться как на поверхности, так и на любом внутреннем слое изделия потому, что сложный рисунок проводящей схемы присутствует на каждом слое. Таким образом, МПП следует проверять либо после нанесения каждого нового слоя, при этом остаётся возможность повредить предпоследний наложенный слой МПП, либо применять неразрушающие методы контроля.

Таким образом, у печатных плат конкретного класса могут проявляться, как схожие со всеми остальными классами (например, непропай), так и, свойственные конкретно этому классу дефекты. На рисунке 1 представлена классификация печатных плат по конструктивно-технологическим особенностям.



Рисунок 1 – Классификация печатных плат

Использование МПП сложной топологии в дорогостоящих установках, а также приборах, поломки которых могут нанести вред здоровью человека, указывает на необходимость осуществления 100%ого выходного контроля таких печатных плат. И, исходя, из особенностей строения подобных изделий, для их выходного контроля необходимо применять не только ВОК, но и рентгеновский или электрический, для поиска внутренних дефектов.

Таким образом, можно сделать вывод, что необходимо подбирать методы и алгоритмы контроля качества для конкретной модели ПП. Накопленная от монотонности действий усталость и сложность топологии, при проведении ВОК печатных плат может влиять на результаты выходного контроля.

1.2 Контроль качества печатных плат

Контроль качества продукции на различных технологических этапах является важным процессом при производстве печатных плат потому, что качество ПП напрямую влияет на качество электронных устройств, для которых это изделие является комплектующим, таким образом 100%ный контроль качества является желательным на предприятии, ведущем свою деятельность в этой отрасли.

Цель процесса контроля качества состоит в получении информации о состоянии объекта контроля и сравнении полученных результатов с регламентированными требованиями.

Правила применения принципов и средств контроля называют методом контроля.

Метод контроля включает:

- технологию проведения контроля;
- контролируемые признаки;
- средства контроля;
- точность контроля.

В процедуру контроля включены:

- объект контроля;
- метод контроля;
- исполнитель контроля;
- эталоны.

Дефектом печатной платы является нарушение критериев качества продукции, отклонение топологии на объекте, нарушение технологического процесса производства печатной платы, повреждения. Список дефектов печатных плат указан в таблице 1 [3,4].

Таблица 1– Перечень потенциальных причин, влияющих на надежность печатных плат

Дефект	Наблюдаемое свойства дефекта
Дефекты поверхности	Недостаток смолы
	Избыточная медь
	Царапины, вмятины, раковины
Инородные включения	
Межслойные дефекты	Вспучивание
	Расслоение
	Розовый ободок
Пустоты в металлизации отверстий	
Маркировка	
Паяемость	
Адгезия гальванического покрытия	
Концевой печатный разъем	
Качество изготовления	
Требования к размерам платы	Характеристика контура
	Толщина
	Точность расположения отверстий
	Совмещение внешних слоев платы
	Совмещение внутренних слоев платы

Продолжение таблицы 1

Описание проводника	Ширина
	Зазор
Проводящие поверхности	Трещины, раковины, вмятины
	Неполное смачивание припоем
	Несмачивание припоем
	Контактные площадки печатного разъема
	Контактные площадки для поверхностного монтажа
Качество металлизированного отверстия	Пустоты в металлизации
	Складки, включения
	Неровности, наросты
	Выступающее стекловолокно
	Капиллярное затекание припоя
Целостность базового материала	Недостаток смолы
	Пустоты в базовом материале
Подтравливание металлируемых отверстий	
Дефектное подтравливание металлируемых отверстий	
Отслоение контактных площадок	
Оценка размеров	Толщина гальванического покрытия
	Толщина проводника
	Наросты на краях проводника
	Поясок контактной площадки
	Металлический сердечник
	Диэлектрический зазор

Окончание таблицы 1

Металлизированное отверстие после термического удара	Внутренние расслоения
	Внутренние вкрапления
	Растрескивание фольги на внутреннем слое
	Растрескивание фольги на наружном слое
	Трещины в металлизации отверстия
	Отслоение металлизации
	Полностью отслоившиеся контактные площадки
	Частично отслоившиеся контактные площадки
	Пустоты в металлизации

Таким образом, свойства, по которым можно сделать вывод о соответствии изделия – определены в государственных стандартах и стандартах предприятия, на котором проводится сборка изделий. Кроме того, часть дефектов нельзя обнаружить без нарушения работоспособности печатной платы, либо без применения неразрушающих методов контроля.

Для неразрушающего контроля печатных плат на протяжении всего производственного процесса, обычно применяются ВОК, электрический контроль или контроль рентгеном. Однако, даже при применении рентгеновского или электрического методов контроля, необходимо прибегать к визуально-оптическому методу контроля, так как, сами по себе, эти методы не позволяют оценить соответствие топологии печатной платы.

Одним из наиболее оптимальных методов является – рентгеновский. В этой работе использовался рентгеновский 3D микротомограф, реконструирующий цифровую модель объекта со всей внутренней структурой.

1.3 Процесс контроля качества без использования программных средств

Процедура оценки контроля качества и отбраковки печатных плат происходит по алгоритму, представленному на рисунке 2. Во время выполнения работ, необходимо следовать указаниям рабочей инструкции, системе стандартов безопасности труда, технике безопасности. В процессе контроля качества и отбраковки печатных плат нужно осматривать платы на наличие дефектов и принимать решения о соответствии продукции. Для проверки электропроводности печатной платы используется мультиметр.

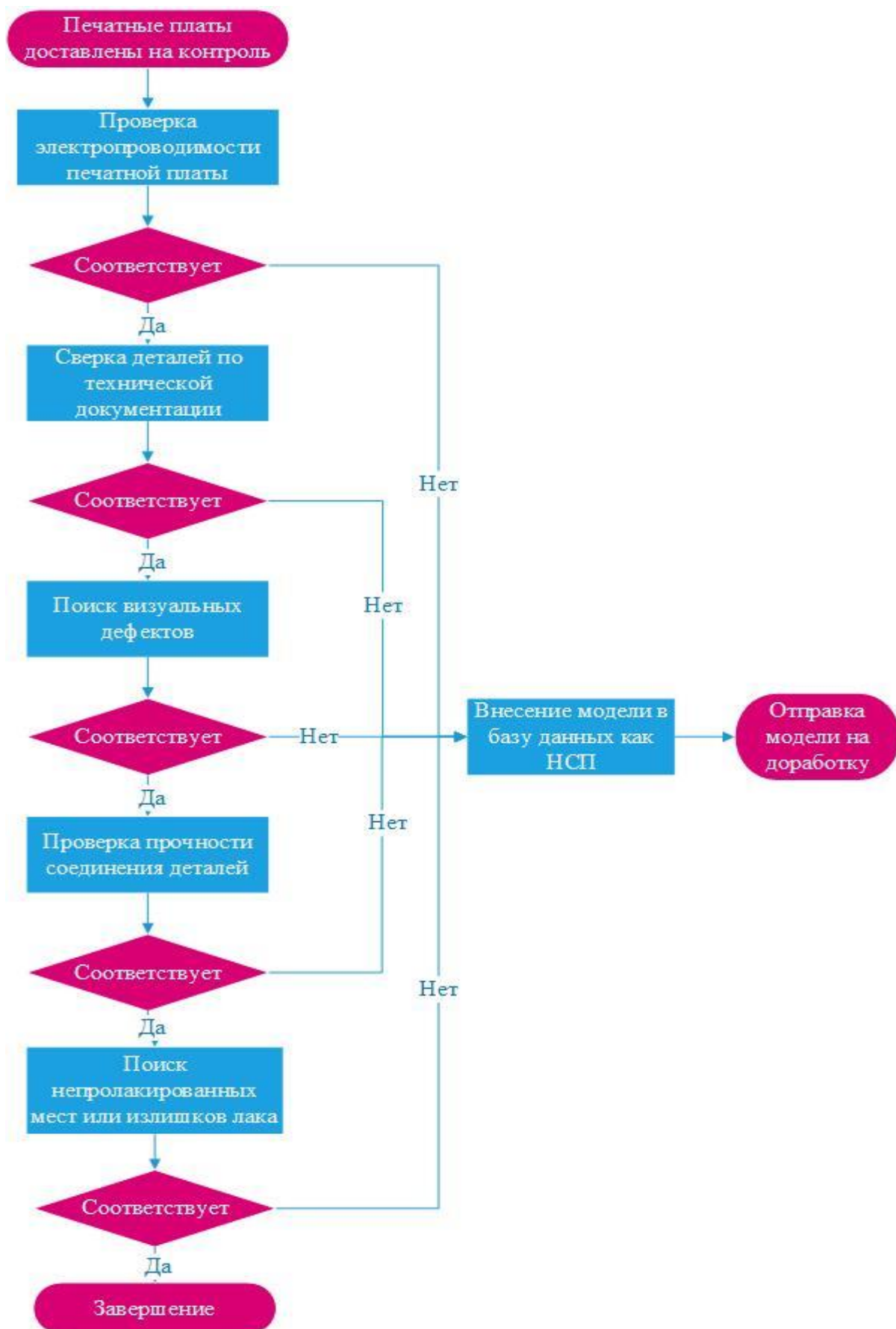


Рисунок 2 – Алгоритм процедуры оценки печатных плат

Для упрощения сбора информации о наличии дефектов в каждом виде продукции, используются статистические методы контроля качества (контрольные листки). В контрольном листке для каждого вида продукции прописываются замечания, которые могут быть выявлены у данного вида продукции. Для более эффективного предупреждения проблем и более точного сбора информации, применение контрольного листка происходит по следующим правилам:

- один контрольный листок заполняется в течение одного дня;
- один контрольный листок для одного вида продукции;
- один контрольный листок на одного работника, проводящего операцию;
- регистрация результатов на контрольных листках осуществляется рабочим или сотрудником ОТК;
- обработку результатов осуществляет начальник ОТК;
- каждый день данные со всех контрольных листов вносятся в базу данных предприятия, после этого – уничтожаются.

В среднем, для осуществления визуально-оптического контроля двух слоев (лицевой и оборотной стороны) печатной платы с установленными комплектующими размером 15x10 см, необходимо потратить 2-3 минуты, с учетом размещения изделия в ящик для дальнейшей транспортировки. Стоит отметить, что печатные платы сложной топологии, намного чаще не проходят входной контроль потребителя.

Таким образом, высчитав сколько уходит на проведение каждой операции, можно посчитать время работы сотрудника ОТК и сравнить его со временем работы СТЗ. Также, исходя из набора операций, можно сделать вывод о том, какие дефекты невозможно найти при проведении этого процесса, а значит найти недостатки такого метода контроля.

Для сбора информации о дефектах печатных плат, была выбрана статистика о SMT следующих моделей ПП:

- модуль «МА-711М»;
- плата «МА-711М»;
- плата «МД-711М»;
- плата «МС 711Gm»;
- плата «МД-712»;
- плата «КС-712»;
- плата «МА-712М»;
- плата «МС-712G»;
- плата «МА-713»;

- плата «МА-714»;
- плата «МА-715М»;
- плата «МА-716М»;
- плата «МА-734»;
- плата «E-SOM-G».

В таблице 2 указаны дефекты, встречающиеся у этих моделей печатных плат.

Таблица 2 – Статистика замечаний за 2017-2020 гг.

Замечания	Год			
	2017	2018	2019	2020
Непропай	5	1	123	13
Установка на бок			10	32
Смещение	5	2	58	59
Компонент не установлен	3	1	117	16
Не запаян вывод		2	46	22
Установка не по ключу		5		1
Установка не по КД		4		7
Замыкание	10	10	2	8
Установлен лишний элемент			2	1
Номинал не соответствует КД			1	
Деформация выводов		8		
Инородное включение в пайке				2
Эффект надгробного камня				8
Механическое повреждение				1
Установка вверх ногами				3
Не запаян вывод резисторов				57
Не запаян вывод конденсаторов				7
Резистор на ребре	13	6	0	1
Излишки припоя				2
Нарушение минимального электрического зазора				2
Остатки флюса				10
Непропай резисторов	3	10	16	4
Непропай конденсаторов	0	21	4	1
Итого	39	70	379	257

Из таблицы видно, что некоторые дефекты (нарушение минимального электрического зазора, непропай элементов), обнаруживают редко, хотя от потребителя возвращается 10-20% отправленной продукции, прошедшей выходной контроль качества предприятия, что указывает на наличие ошибок, как в производстве, так и процессе контроля качества.

Таким образом, в качестве модернизации системы контроля качества на предприятиях, можно использовать системы технического зрения с поддержкой

нейросетей, так как это позволит обнаружить большее количество дефектов за более короткий срок.

2 Способы, преимущества и целесообразность применения СТЗ, нейронных сетей и РМТ в процессе контроля качества печатных плат

2.1 Обоснование применения нейронных сетей в процессе контроля качества печатных плат

Целесообразность применения нейросетей в процессе контроля качества ПП сложной топологии, обусловлена следующими факторами:

- большие размеры некоторых печатных плат затрудняют процесс ВОК центральных элементов платы;
- мелкие размеры печатных плат, а также их комплектующих, осложняют процесс ВОК для человека;
- наличие мелких дефектов, слабозаметных человеку;
- повышенная скорость поиска дефектов на изображении (от 4 до 8 секунд для печатной платы без комплектующих, до 40 секунд для печатной платы с комплектующими);
- наличие вреда здоровью при проведении визуально-оптического контроля;
- снижение зависимости точности контроля от физиологического и психологического состояния сотрудника;
- снижение вероятности нарушения технологии проведения контроля качества.

Исходя из раздела 1.1, в процессе контроля качества нужно применять разные алгоритмы поиска дефектов. Кроме того, внутри класса, печатные платы отличаются по своей топологии и используемым материалам, что также указывает либо на необходимость применять более объёмный по входным данным алгоритм, с повышенной вероятностью ошибки, либо на необходимость разрабатывать большее количество более точных алгоритмов.

Таким образом, нейросети могут быть применимы в процессах контроля качества печатных плат. Также, можно выделить следующий фактор, который необходимо учесть при разработке алгоритмов: алгоритм можно разработать для поиска дефектов в конкретных моделях схожей топологии, либо для класса в целом, при этом может страдать точность.

2.2 Обоснование выбора рентгеновского контроля

В большей части современных печатных плат используются микросхемы с выводами под корпусом, что указывает на невозможность осуществления полного ВОК печатной платы. Таким образом, наличие выводных компонентов в изделии и проблема

попадания припоя в монтажные отверстия указывает на необходимость применения электрического или рентгеновского методов контроля.

С помощью электрического метода можно определить широкий спектр неисправностей и несоответствий собранных печатных узлов. Однако у этого метода есть ряд недостатков: невозможность выявить причину дефекта, сложность в применении, более узкий спектр обнаруживаемых дефектов, по сравнению с рентгеновским методом. В таблице 3 приведено сравнение неразрушающих методов контроля по спектру обнаруживаемых типов дефектов.

Таблица 3 – Возможности методов контроля ПП

Тип дефекта		Возможность диагностики методом контроля		
		Визуальным	Электрическим	Рентгеновским
Снижение минимально допустимого электрического зазора	Внешние слои	Да	Нет	Да
	Внутренние слои	Нет	Нет	Да
Расслоение	Внешние слои	Да	Нет	Да
	Внутренние слои	Нет	Нет	Да
Короткое замыкание	Внешние слои	Да	Да	Да
	Внутренние слои	Нет	Да	Да
Точность топологии	Внешние слои	Да	Нет	Да
	Внутренние слои	Нет	Нет	Да
Обрыв проводника	Внешние слои	Да	Да	Да
	Внутренние слои	Нет	Да	Да
Протравливание проводника	Внешние слои	Да	Нет	Да
	Внутренние слои	Нет	Нет	Да
Включения в отверстия	Сквозные	Да	Нет	Да
	Внутренние отверстия	Нет	Нет	Да
Не совмещение отверстия с контактной площадкой	Внешние слои	Да	Нет	Да
	Внутренние слои	Нет	Нет	Да
Не полная металлизация отверстия	Сквозные	Да	Да	Да
	Внутренние отверстия	Нет	Да	Да
Отсутствие электрической связи проводника с металлизацией отверстия	Внешние слои	Да	Да	Да
	Внутренние слои	Нет	Да	Да
Зауженные проводники	Внешние слои	Да	Нет	Да
	Внутренние слои	Нет	Нет	Да
Повреждения протравливания контактных площадок	Внешние слои	Да	Нет	Да
	Внутренние слои	Нет	Нет	Да

Окончание таблицы 3

Инородные включения или избытки материала (лака или меди)	Внешние слои	Да	Нет	Да
	Внутренние слои	Нет	Нет	Да
Повреждение проводника	Внешние слои	Да	Нет	Да
	Внутренние слои	Нет	Нет	Да

Из таблицы видно, что рентгеновские методы контроля позволяют обнаруживать более широкий спектр типов дефектов.

Таким образом, рентгеновский метод контроля является наиболее совершенным и точным методом дефектоскопии печатных плат.

2.3 Обоснование применения РМТ в процессе контроля качества печатных плат

С помощью визуально-оптического контроля многослойных печатных плат сложной топологии невозможно найти весь спектр дефектов, потому что невозможно рассмотреть внутреннюю структуру печатной платы без специальных приборов. Поэтому для поиска дефектов внутренних слоёв можно применять рентгеновские или электрические методы контроля. Это позволит определять больший спектр дефектов.

Сравнение технологий контроля качества МПП рентгеновским методом, представлено в таблице 4 [5].

Таблица 4 – Сравнение видов рентгеновских методов

Вид рентгеновского метода	Технология	Преимущества	Недостатки
Просвечивающий 2D-рентген	Установка, где излучатель находится сверху объекта исследования, а приёмник – снизу. Результат – плоский снимок	Низкая стоимость при высокой скорости контроля пустых печатных плат и печатных плат с электронными компонентами с одной стороны	Разный коэффициент увеличения при просмотре объекта под углом. Невозможность выполнения быстрого и качественного контроля собранных электронных узлов с двусторонним монтажом. Требуется высококвалифицированный персонал для анализа дефектов пайки

Продолжение таблицы 4

Ламинаграфия	Движение трубки и приемника в противоположных направлениях. Результат – снимок слоя на определенной глубине	Возможность контроля собранных электронных узлов с двусторонним монтажом	Быстрый контроль только на определенном уровне. Требуется высококвалифицированный персонал. Низкая производительность при формировании трехмерного изображения
Цифровой томосинтез	Вращение рентгеновской трубки или ПП по окружности. Результат – трехмерная модель верхнего/нижнего слоя, созданная из серии снимков (от 4 до 12)	Быстрое формирование трехмерного изображения. Возможность контроля собранных электронных узлов с двусторонним монтажом	Относительно высокая стоимость. Ограничение коэффициента увеличения. Ограничение по размеру печатной платы. Недостаточная четкость изображения мелких деталей изображения
Компьютерная томография	Вращение ПП вокруг своей оси. Результат – трехмерная модель объекта, созданная из серии снимков	Быстрое формирование трехмерного изображения	Относительно высокая стоимость. Ограничение коэффициента увеличения. Ограничение по размеру печатной платы. Плохая четкость изображения

Окончание таблицы 4

3D наклонная компьютерная томография	Вращение вокруг исследуемого компонента. Рентгеновская трубка и приемник установлены под углом. Результат – трехмерная модель из серии снимков	ПП оси	Быстрое формирование трехмерного изображения. Возможность контроля собранных электронных узлов с двусторонним монтажом. Высокая четкость изображения. Нет ограничения по коэффициенту увеличения; нет ограничений по размеру печатной платы	Относительно высокая стоимость
--------------------------------------	--	--------	---	--------------------------------

Таким образом, наиболее оптимальным решением для автоматизации процесса контроля качества является рентгеновская 3D микротомография. Это обусловлено тем, что она способна создавать изображение каждого слоя печатной платы, и полученные изображения можно обработать и подвергнуть визуально-оптическому контролю. Собранные изображения высокого качества позволят находить более мелкие дефекты. Также данный метод позволит автоматизировать процесс контроля качества для большей части элементов печатных плат, подверженных повреждениям и прочим ошибкам.

Кроме того, для осуществления корректной дефектоскопии необходимо, чтобы размеры на воссозданной микротомографом модели отражали действительные размеры на внесенной на контроль платы, то есть, следует создать такие условия, при которых невозможно будет снять с печатной платы изображение, искаженное из-за неточности позиционирования или не прочной фиксации объекта контроля.

В качестве прибора, рассматриваемого к применению в данной работе, выбран рентгеновский 3D микротомограф с соответствующим программным обеспечением. Характеристики РМТ отражены в таблице 5 [6].

Таблица 5 – Технические характеристики рентгеновского микротомографа

Параметр	Значение параметра
Пространственное разрешение восстановленного объекта	1-13 мкм
Различимость деталей	≥ 1 мкм
Количество разрешающих элементов детектора	2048x2048 ячеек при размере одного элемента не более 13,3x13,3 мкм
Время измерения образца 1см ³ при точности 10 мкм	Не более двух часов
Точность позиционирования объекта	± 1 мкм
Размер сканируемой платы	50 x 50 x 50 мм

Однако, не для всех печатных плат целесообразна дефектоскопия внутренних слоев, например, если плата односторонняя или двусторонняя, то вероятность дефектов внутри самой пластины диэлектрика – мала. В таком случае, в качестве прибора для получения изображения можно использовать фотоаппарат с высоким разрешением и стабильной системой позиционирования, которая включает в себя, как устойчивое положение самой камеры, так и точное расположение печатной платы, с целью создания изображения с корректными размерами элементов топологии изделия.

Таким образом, применение рентгена, в том числе рентгеновского 3D микротомографа, позволяет проводить наиболее полный контроль качества печатных плат благодаря тому, что рентген создаёт снимки каждого слоя. Каждое изображение можно подвергнуть тщательному анализу, с целью выявления дефектов изделия. Это является монотонной и однообразной задачей, и выполнение такого типа работы может снизить работоспособность персонала.

Поэтому для сохранения устойчивого уровня точности выходного контроля, можно использовать нейронные сети. Так как дефекты на разных слоях плат, скорее всего, будут дефектами одних и тех же классов, а значит алгоритм работы для каждого слоя будет одинаков, либо в него будут внесены незначительные корректировки. То есть рентгеновский метод контроля качества может работать эффективнее с применением нейронных сетей.

Использование нейронных сетей для обработки и анализа изображений, позволит предприятию:

- автоматизировать процесс дефектоскопии, что снизит издержки;

– сделать процесс более прогнозируемым по времени, то есть каждое новое изделие будет проверяться за один и тот же промежуток времени, значит количество «узких мест» бизнес-процесса снизится;

– повысить уровень качества печатных плат, за счёт снижения количества несоответствующей продукции, выпускаемой с предприятия.

Таким образом, наличие рентгена положительно влияет на жизненный цикл конечного продукта.

2.4 Использование СТЗ в контроле качества печатных плат

СТЗ – система, получающая полезную информацию с изображения путем распознавания и анализа элементов изображения [7]. Структура СТЗ изображена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Структура систем технического зрения

Система технического зрения работает следующим образом: устройство формирует изображения печатной платы (количество и разрешение снимков может отличаться в

зависимости от фрагмента печатной платы или модели печатной платы, ради увеличения быстродействия системы), на основе изображений создаются объёмные образы объекта, после чего происходит первичная обработка этого изображения. Затем изображение декомпозируется на однородные сегменты, и система проводит анализ-сравнение изображения [8,9]. Для сравнения используется эталон, а за эталон берется бездефектная печатная плата той же модели, что и анализируемый объект.

Всего существует несколько методов (алгоритмов) анализа изображений.

Алгоритмы, используемые в автоматических системах контроля топологии, можно условно разделить на использующие эталон, основанные на контроле проектных норм и гибридные алгоритмы. Алгоритмы, которые основаны на использовании эталона, могут сравнивать непосредственно эталонное и тестовое изображение печатных плат или использовать в качестве эталона набор моделей с заранее определенными информативными признаками. При сравнении с эталоном возможно как непосредственное попиксельное сравнение тестового изображения с изображением эталонного образца (вычитание изображений), так и выделение и последующее сравнение информационных признаков элементов [10].

Корреляционный метод – метод, основанный на принятии решений по критерию близости с эталонами. Автоматическая система контроля создаёт набор моделей, описывающих эталон и такой же набор моделей, описывающих введенную изображение (контролируемую печатную плату). Затем – сравнивает объект с эталонным, с помощью пошагового перебора каждого входного сигнала моделей контролируемого изделия и эталонных моделей. По схожести моделей система принимает решение о качестве изделия. Поэтому применим в случаях, когда необходимо наиболее точное соответствие проверяемого объекта эталонному объекту, следовательно применяется в системах слежения и промышленной роботизации. Также требует наибольших вычислительных мощностей и временных затрат.

Либо система контроля, может не использовать модели, а основывать метод анализа, изображенный на признаках объекта. Признаковый метод – метод, основанный на выявлении признаков объекта и сравнении этих признаков с признаками эталонов. В зависимости от поставленной задачи, выполняется корреляционная обработка только признаков, полученных от эталона и входного изображения. Система проверяет элементы топологии на соответствие стандартам, введенным в систему, например, расстояние между элементами, размер элементов, размер отверстий, толщина печатной платы, характеристики контура. То есть происходит корреляционный анализ только признаков объекта, а не всех входных сигналов, поэтому, в сравнении с корреляционным анализом, он

требует меньше вычислительных мощностей. При этом возникает задача объединения и комплексной обработки признаков различной размерности (метрических, статистических, логических, текстурных и т. д.), полученных различными измерительными средствами с целью решения задачи распознавания [11]. Данные алгоритмы, в основном, операторы математической морфологии, такие как эрозия и дилатация. Также могут применяться алгоритмы, основанные на анализе границы элементов. [12].

Кроме этих двух методов, существуют гибридные методы анализа изображений. Гибридные алгоритмы контроля основаны и на сравнении с эталоном, и на методах контроля правил топологии элементов [10]. Гибридным методом, является корреляционно-признаковый метод. Корреляционно-признаковый метод – метод, при котором, к элементам эталонного изображения, полученным в результате декомпозиции, применяют корреляционный метод, а при анализе контролируемого объекта, эти значения применяются как признаки.

Синтаксический метод – метод, основанный на получении структурнограмматических признаков, когда в изображении выделяются непроецируемые элементы – признаки. Вводятся правила соединения этих элементов, одинаковые для эталона и входного изображения. Анализ полученной таким образом грамматики обеспечивает принятие решений [11].

Таким образом, можно использовать разные методы анализа изображений для поиска разных дефектов.

Корреляционный метод анализа можно использовать для поиска любых мельчайших дефектов, например: непропай компонента, неполная смачиваемость места пайки, замыкание.

Признаковый метод можно использовать в поиске следующих дефектов: расстояние между элементами, несоответствующая установка компонента, минимальный и максимальный диаметр отверстий, надгробный камень, проводника, окончание проводников, смещение элементов, инородное включение в печатную плату, механическое повреждение, раковины в пайке, сосулька припоя (дефекты пайки), пузыри лака, лишние капли лака.

Корреляционно-признаковый и синтаксические методы можно использовать для поиска дефектов: прокол, короткое замыкание, разрыв, эффект рыбьего глаза, неполное лакирование печатной платы, повреждение контактной проводимости, дефекты выводов.

Выбор метода распознавания следует осуществлять исходя из:

- размера печатных плат;
- количества и размера элементов печатных плат;

- способа производства печатных плат;
- качество изображения, необходимое для распознавания дефекта.

Недостатки применения систем технического зрения описаны ниже.

Необходимость большого количества итераций применения систем, с целью получения возможности обнаруживать дефекты и не отправлять на доработку соответствующее изделие.

Зависимость точности локализации дефектов от аккуратности совмещения эталонного и тестового изображений. Для снижения этого фактора применяется нормализация.

Задача нормализации изображения – определение параметров геометрических преобразований, которым подверглось изображение, с целью компенсации. Компенсация может проводиться за счет изменения пространственного положения системы ввода изображения, либо алгоритмически путем применения обратного преобразования к входному изображению. Процедура преобразований производится с помощью операторов нормализации – нормализаторов, а вычисление параметров выполняется функционалами, действующими на множестве изображений [11].

Таким образом, внедрение систем технического зрения в процессы технического контроля, позволят проводить более точный и надёжный поиск дефектов, путём снижения влияния человеческого фактора в этом процессе.

2.5 Процесс распознавания дефектов печатных плат с использованием нейросетей

Нейросети можно использовать для обработки и анализа изображений печатных плат с целью поиска дефектов. А так как принцип рентгеновского контроля состоит в создании большого количества изображений, визуальный анализ которых позволяет выявить дефекты ПП, то значит для осуществления этого анализа можно применять нейронные сети.

Основными преимуществами использования нейросетей в процессе контроля качества, являются: устойчивость к шумам, быстрое действие, надёжность, возможность быстро обучаться, удешевление процесса контроля качества, увеличение точности контроля качества [13, 14]. Поиск дефектов возможен благодаря тому, что нейросети могут делить изображения на группы (классы), а значит можно внести в эталонные изображения модели соответствующих печатных плат, и нейросеть на основе этих данных сможет находить отклонения, а значит считывать дефекты изделий. Основные задачи, решаемые с помощью нейросетей изображены на рисунке 4.



Рисунок 4 – Основные задачи, решаемые с помощью нейросетей

Этапы распознавания дефектов описаны ниже.

Формирование изображения – ввод изображения печатной платы со всех сторон с целью поиска дефектов.

Обработка изображения – повышение контрастности, наложение фильтров для более чёткого выделения дефектов.

Сегментация изображения – разделение изображения на составляющие объекты, выделение контурных линий, другие способы декомпозиции изображения [7].

Описание изображения – выявление признаков изображения, сравнение с эталонным образцом (печатной платой без дефектов), вычисляются характеристики, инвариантные к преобразованиям изображений объектов в рабочей модели [15].

Анализ изображения – применение статистических методов и структурно-логических методов для выявления дефектов и совершенствования метода поиска отклонений. На этом этапе делается вывод о подобии рассматриваемого образца и эталонного, определение класса рассматриваемого образца [9]. Таким образом, можно сделать выводы о соответствии изделия. Схема верхнего уровня изображена на рисунке 5.

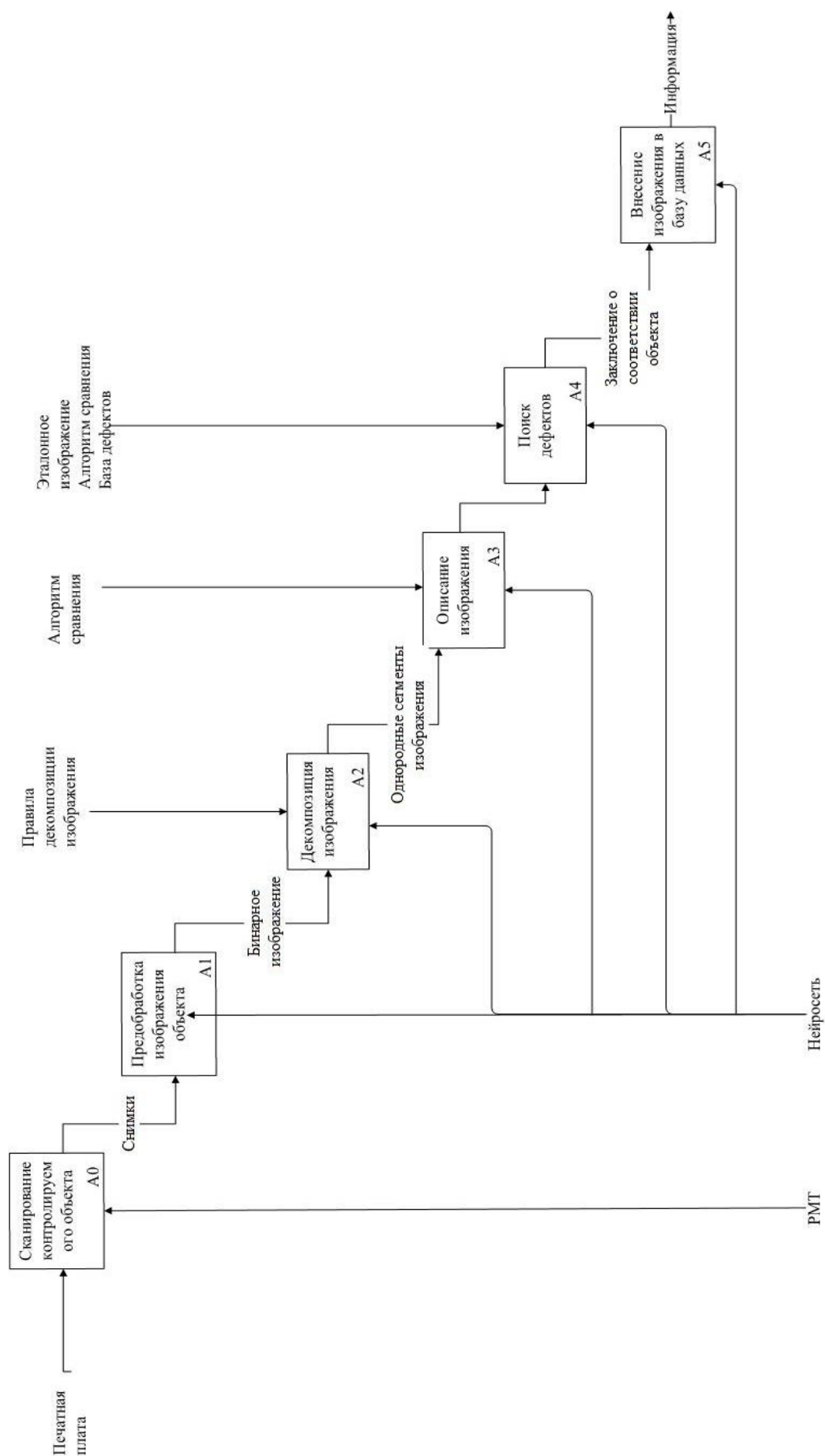


Рисунок 5 – Модель процесса распознавания дефектов

Характеристики систем распознавания, следующие:

- вероятность распознавания;
- количество эталонных образов [15];
- скорость обработки (поиска дефектов) платы;
- способность распознавать разные типы дефектов;
- качество изображения, необходимое для распознавания дефекта.

Таким образом, при определённых условиях, можно использовать нейросеть-классификатор вместо сотрудника, выполняющего функцию контроля качества.

2.6 Преимущества, недостатки и риски использования нейросетей в процессе контроля качества

Использование систем технического зрения в контроле качества, обладает рядом преимуществ перед использованием человеческого труда, например:

1. Точность. Алгоритмы технического зрения обеспечивают более высокую степень точности в принятии решения о соответствии изделия.
2. Стабильность. Система не снижает своей эффективности при выполнении монотонной работы. Таким образом, это позволит нам более точно понимать границы процесса и разрабатывать производство с меньшим количеством узких мест. Также это говорит о том, что в процессе выполнения контроля качества, точность не будет снижаться.
3. Снижение затрат за счёт уменьшения необходимых рабочих мест.
4. Моментальная обратная связь.
5. Быстродействие системы.
6. В сравнении с обычными статистическими методами обладают дополнительными быстрореализуемыми методами анализа (машина Больцмана, карты Кохонена, когнитрон.) [11].
7. При контроле рентгеновским способом без применения нейросетей, изделие также необходимо подвергать визуальному осмотру.

Основными препятствиями в применении нейросетей сейчас, являются проблемы, указанные ниже:

1. Проблема локального минимума. Как и для всех градиентных методов, проблема локального минимума заключается в том, что при итерационном спуске может наступить момент, когда решение заходит в локальный минимум, из которого вследствие малой величины шага не может выбраться. И такой локальный минимум не всегда обеспечивает приемлемое решение. Выход заключается в применении стохастических методов [11, 16].

2. Выбор архитектуры сети (количество нейронов, слоёв, характер связей). С этим также связана проблема переобучения, которая заключается в том, что сеть с избыточным числом элементов теряет обобщающую способность и хорошо работает только на тренировочной выборке. В настоящее время разработаны различные априорные оценки выбора архитектуры, методы прореживания обученных сетей, методы «растущих» сетей [16,17].

3. Выбор шага (скорости) обучения. Такая проблема связана с тем, что при малом шаге время обучения будет большим и сеть может застревать в локальных минимумах, а при больших шагах возможно расхождение процесса обучения или паралич сети. Проблема эффективно решается адаптивным шагом, который для каждой итерации позволяет сделать шаг, минимизирующий ошибку сети на данной итерации. Существуют методы, которые на каждом тренировочном цикле (называемом эпохой) анализируют всю тренировочную выборку и выбирают оптимальное значение и направление шага [16].

4. Необходимость в чётком позиционировании объекта контроля. Точность и скорость принятия решения зависит от качества полученных данных, в том числе соответствия расположения эталонного объекта и контролируемого объекта. Таким образом, возникает проблема с необходимостью точного расположения печатных плат для проведения контроля, а также соблюдение неподвижности объектом контроля во время получения снимков печатных плат. Отчасти, эту проблему можно решать внедрением специальных магазинов, кассет футляров, которые будут заполняться печатными платами и вставляться в конвейер в специальные пазы.

5. Необходимость разработки, закупки или модернизации оборудования, документации. Обучение сотрудников.

6. Отсутствие нормативной базы, регламентирующей метод контроля с помощью нейросетей.

Для реализации подобного метода контроля качества печатных плат, необходимо обеспечить следующее [14]:

1. Высокое качество и достоверность входных данных. От того насколько чёткое изображение поступает в систему зависит скорость и точность принятия решения.

2. Высокую скорость связи устройства ввода и обработчика. Быстродействие системы напрямую зависит от скорости передачи информации внутри системы.

3. Достоверность и скорость работы обработчика. Проблемы в работе обработчика приводят к ошибкам в принятии решения. Ещё, скорость работы всей системы зависит от скорости принятия решения обработчиком. Скорость обработки данных зависит от

прибора, на котором система запущена и программного обеспечения, запущенного на этой машине.

Среди рисков внедрения метода контроля с помощью нейросетей, можно выделить следующие:

- снижение точности системы при неправильном использовании тренировочных данных;
- поломки системы позиционирования.

Таким образом, внедрение нейронных сетей, работающих с изображениями печатных плат, является сложной для внедрения, но при этом позволит значительно повысить уровень качества продукции, а также снизить затраты на сам процесс контроля качества продукции.

2.7 Затраты на работника

Применение автоматизированных систем, позволит отказаться от применения человеческого труда в процессе контроля качества.

Самой крупной статьёй расходов на сотрудников – является заработная плата. Средняя заработная плата контроллера ОТК, представлена в таблице 6 [18,19,20].

Таблица 6 – Зарботная плата сотрудников ОТК по стране

	Зарплата «на руки», руб	Зарплата с учетом НДФЛ, руб	Зарплата с учетом страховых взносов, руб
Томск	35000	39550,00	51415
Средняя зарплата по стране	62511	70637,43	91828,659
Медианная зарплата по стране	51000	57630,00	74919

Также, в затраты на сотрудников можно добавить издержки на форму, инструменты, необходимые перерывы. Также отпуск или больничный – время, в которое сотрудник не должен выполнять свои обязанности, в то время как задержки автоматизированной системы из-за поломок будут значительно меньше.

Производственный травматизм и профессиональные заболевания наносят вред, как производству, так и здоровью работников [21, 22].

При выполнении функций сотрудника ОТК, присутствуют риски, указанные в таблице 7 [23,24, 25]:

Таблица 7 – Риски для сотрудников ОТК

Источник риска	Опасность риска	Возможные последствия
Лакокрасочными материалы печатных плат	Поражения кожи или дыхательных путей	Болезнь и расстройства здоровья с временной утратой трудоспособности продолжительностью до 60 дней
Механические опасности перемещения по зданию, цеху	Падение из-за потери равновесия, в том числе при спотыкании или проскальзывании, при передвижении по скользким поверхностям или мокрым полам, вблизи оборудования	Травма
Пожар	Отравление угарным газом, продуктами сгорания материалов	Болезнь и расстройства здоровья с временной утратой трудоспособности продолжительностью до 60 дней
	Воздействие открытого огня, повышенной температуры	Серьёзное ранение
Оборудование, работа на персональном ПК	Воздействие тока	Остановка сердца, дыхания; разрывы мышц, поражение мозга, ожоги, расстройство здоровья с временной утратой трудоспособности продолжительностью до 60 дней
	Воздействие общей вибрации в цехе	Головные боли, усталость, снижение внимания
	перенапряжение зрительного анализатора	Незначительная травма, усталость, снижение внимания
Неверная установка оборудования	Неправильная рабочая поза	Незначительная травма, появление шейного остеохондроза
Отклонения в микроклимате	Слишком высокая или низкая температура	Появление быстрой утомляемости, перегрев, тепловой удар, снижение внимания

Окончание таблицы 7

Недостаточная освещённость рабочей зоны	Перенапряжение зрительного анализатора	Незначительная травма, усталость, снижение внимания
Продолжительная работа без перерыва	Перенапряжения зрительного анализатора	Незначительная травма, усталость, снижение внимания
	Неправильная рабочая поза	Незначительная травма, появление шейного остеохондроза

Таким образом, внедрение автоматизированных систем позволит избежать или уменьшить воздействие рисков, связанных со здоровьем сотрудников ОТК и производством в целом.

3 Необходимые ресурсы

3.1 Таблица сравнения оборудования для реализации АОИ

В качестве основных характеристик следует рассматривать максимальное разрешение и число эффективных пикселей, так как чем выше разрешение, тем выше вероятность обнаружить дефект, максимальный размер матрицы, так как чем больше размер, тем меньше вероятность получить изображение с шумами.

Светочувствительность и экспокоррекция позволят избежать рисков снижения качества изображения при меняющейся освещенности конвейера, чем меньше экспокоррекции, тем более точно фотоаппарат приспособится к новым условиям, размах экспокоррекции указывает на допустимые рамки изменения освещенности.

Очистка матрицы, позволит реже снимать камеру на технологическое обслуживание.

Скорость съёмки, указывает на максимальную скорость работы автоматизированной системы при использовании этой камеры.

Формат кадра является указанием на возможные варианты позиционирования изделия на конвейерной ленте.

Рассматриваемые в таблице 8 образцы использовались в создании дата-сетов для обучения нейронных сетей, обнаруживающих дефекты, либо имеют схожие с этими камерами характеристики, а также возможность синхронизировать скорость съёмки с работой конвейера [26,27, 28].

Таблица 8 – Сравнение камер по характеристикам

Параметр камеры	Nikon D4	Canon EOS 6D	Sony Alpha A7	Nikon D5100	Nikon D610
Цена, руб	200000	85000	140000	18000	86000
Максимальное разрешение снимка, pix	4928x3280	5472 x 3648	6000x4000	4928x3280	6016x4016
Общее число пикселей, млн	16,6	20,6	24,7	16,9	27,4
Число эффективных пикселей, млн	16,2	20,2	24,3	16,2	24,3
Физический размер матрицы, мм	36 x 24	36 x 24	35,8 x 23,9	23,6 x 15,6	35,9 x 24
Светочувствительность, ISO	От 100 до 800	От 50 до 102400	От 100 до 25600	От 100 до 6400	От 100 до 25600

Окончание таблицы 8

Очистка матрицы	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
Экспокоррекция, EV	От +5 до -5	От +5 до -5	От +5 до -5	От +5 до -5	От +5 до -5
Шаг экспокоррекции, EV	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
Формат кадра	3:2, 16:9	3:2	3:2, 16:9	3:2, 16:9	3:2
Количество фотографий на 1000 мА/ч, ед	800	605	314	330	473
Скорость съёмки, кадров/сек	11	4,5	5	4	6

Исходя из наиболее важных характеристик, а также затрат на закупку камеры, наиболее оптимальным вариантом является Nikon D610, в случае необходимости контроля качества большого объёма печатных плат простой топологии, можно использовать более дорогой вариант Nikon D4.

Необходимая для корректной работы нейронных сетей освещенность не отличается от освещенности, необходимой для проведения ВОК.

В зависимости от типа крепления светодиодов, а также ширины конвейерной ленты, приобретение, цена покупки и установки приборов освещения варьируется от 1500 до 7000 рублей. Наиболее подходящий свет для подобных установок – белый холодный.

Стоимость размещения конвейерной ленты общей площадью 4м² – 81000 рублей.

Стоимость машины для запуска нейросетей и хранения информации об изделиях может варьироваться от 25000 до 35000 рублей. Чем больше количество моделей, загруженных в базу данных, шире проверяемый спектр дефектов, а также выше необходимое быстродействие, тем более дорогая машина требуется для автоматизации.

Итоговая стоимость покупки и установки оборудования для запуска подобной системы варьируется от 125500 до 491500 рублей.

3.2 Автоматическая система оценки изображения

Ближайшим аналогом разрабатываемой системы является АОИ Zenith, который обнаруживает дефекты, однако решение о соответствии изделия принимает человек.

АОИ, в основном, используются для контроля количества нанесенной паяльной пасты, проверки корректности выбора комплектующих, контроля паяных соединений. Для контроля качества пайки компонентов BGA, выводы которых не видны, используют

автоматические системы рентгеновского контроля. Комбинированные АОИ позволяют определить как наружные, так и внутренние дефекты. То есть, подобное сочетание, позволяет осуществить [29]. Характеристики АОИ представлены в таблице 9 [30, 31, 32].

Таблица 9 – Характеристики АОИ на рынке.

	Zenith Lite L	Zenith L	Zenith XL	MV-7 OMNI	MV-9
Скорость инспекции, см ² /с	24	24	24	42,6	42,6
Число эффективных пикселей камеры, Мпиксел	4	4	4	15	25
Максимальное разрешение снимка, рix	1920 x 2160	1920 x 2160	1920 x 2160	3904 x 3904	6000x4000
Количество дополнительных камер	0	0	0	4	4
Число эффективных пикселей дополнительных камер, Мпиксел	—	—	—	10	10
Максимальное разрешение снимка дополнительной камеры, рix	—	—	—	3648 x 2752	3648 x 2752
Максимальный размер печатной платы, мм	510 x 510	510 x 510	810 x 610	510 x 460	510 x 460
Максимальная масса печатной платы, кг	5	5	10	4	4

Окончание таблицы 9

Размер поля обзора, мм	40 x 40	40 x 40	70 x 70	58,56 x 58,56	58,56 x 58,56
Габаритные размеры, мм	1000 x 1265 x 1627	1000 x 1420 x 1630	1320 x 1560 x 1690	1100 x 1500 x 1600	1250 x 1500 x 1600

Стоимость установки АОИ варьируется от 7 миллионов до 17 миллионов [32].

Таким образом, автоматические системы контроля качества печатных плат уже активно используются. Однако, на рынке ещё нет АОИ с использованием рентгена, а значит нет и разработанного ПО для внедрения подобных процессов в производство. При этом, в случае, когда разрабатывается специализированное под конкретное предприятие ПО, появляется возможность собрать более дешевую установку АОИ, подходящую конкретным целям.

3.3 Разработанный алгоритм системы поиска дефектов

В распознавании образов чаще всего используется свёрточная архитектура нейронных сетей. Так как она позволяет извлекать локальные особенности ПП, тем самым давая возможность упростить классификацию на более поздних слоях, посредством использования признаков, повысить адаптивность и расширить обучаемость системы [1, 11].

Тип сравнения изображения, подходящий к системе поиска дефектов – «один со многими». Такие нейросетевые алгоритмы должны подбирать подходящую к этой модели плат выборку, при этом допустимо, наличие печатных плат другой модели, если речь идет о контроле таких дефектов, как «мышинная нора», излишки припоя, прокол, уступ, в итоговой выборке [11].

Система снятия изображение получает изображение изделия. Затем изображение масштабируется, и нейронная сеть подтверждает корректность расположения изделия на конвейере, если ПП размещена с небольшими нарушениями, нейронная сеть может применить нормализацию фотографий, чтобы исправить это, в случае если изделие расположено не корректно, и нормализации недостаточно, чтобы исправить это, система останавливает процесс контроля качества. Затем, производится поиск областей, отличающихся от эталонных, оптимизируется яркость, контрастность фотографий, изображение бинаризуется, и после этого нейронная сеть распознаёт дефект и принимает решение о соответствии изделия.

Алгоритм, применимый в области поиска дефектов представлен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Алгоритм работы системы поиска дефекта

Таким образом, для реализации автоматической системы поиска дефекта возможна при разработке подобной структуры, однако сама архитектура и алгоритмы обнаружения объектов, на основе которых создаются нейронные сети.

4 Рекомендации

4.1 Система снятия изображения, для автоматической системы контроля, основанной на нейронных сетях

Вероятность внутренних дефектов у односторонних и двусторонних печатных плат практически отсутствует. В таблице 10 указано количество выпущенных печатных плат поверхностного монтажа.

Таблица 10 – Данные о SMT-монтаже

Год	Количество выпущенных ПП поверхностного монтажа	Количество соответствующих ПП	Количество НСП
2017	104757	99451	5046
2018	95439	90061	5378
2019	246042	232250	13792
2020	203852	190347	13505

Среди печатных плат поверхностного монтажа встречаются дефекты перечисленные в таблице 2.

Исходя из спектра типов дефектов подобных печатных плат, можно сделать вывод, что применение рентгеновских методов контроля – нецелесообразно. Однако сам процесс подобного монтажа чаще всего автоматизирован, а контроль качества больших объёмов печатных выматывает персонал, поэтому имеет смысл применить нейронные сети в процессе дефектоскопии подобных ПП.

Так как для анализа верхних слоев печатных плат нам достаточно фотографии в высоком разрешении и точного позиционирования изделий, для автоматизации можно использовать следующее оборудование:

- конвейерные ленты с гнездами под печатные платы, либо специальные магазины, в которых платы будут надёжно зафиксированы;
- камера;
- осветительные приборы (например, белые светодиоды);
- машина для запуска нейросети.

Исходя из необходимых для работы элементов автоматизированная система контроля качества односторонних и двусторонних печатных плат, была составлена схема работы этой системы. Схема работы системы снятия изображения указана на рисунке 7 [2].

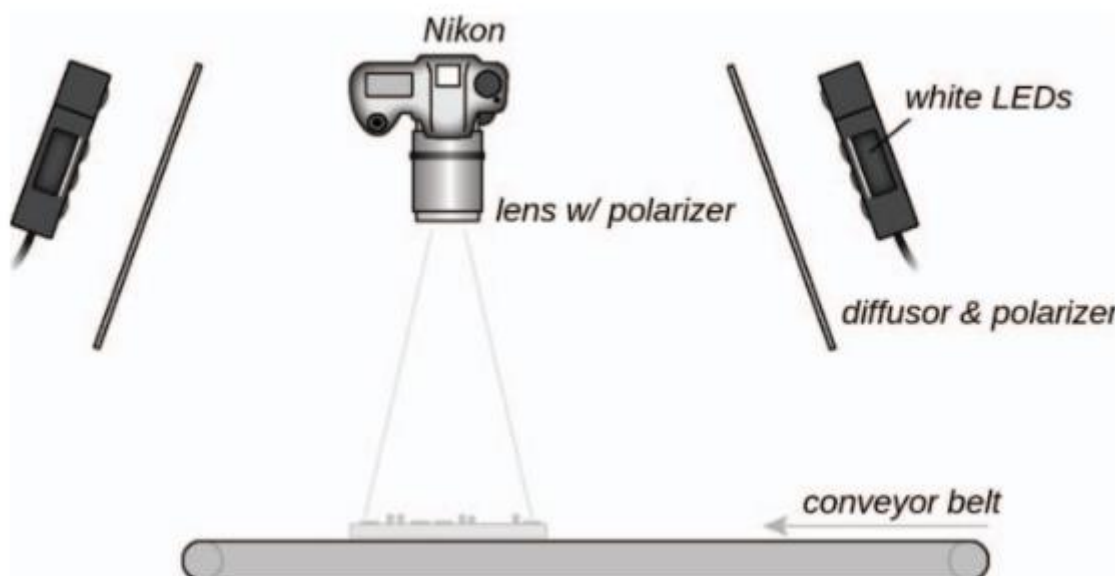


Рисунок 7 – Принципиальная схема работы системы снятия изображения
Установка работает в соответствии с шагами, перечисленными ниже.

Шаг 1: печатные платы погружаются в специальные соты/магазины/формы, и укладываются на конвейерные ленты. В зависимости от выбранной камеры, ширины конвейерной ленты и подобранного алгоритма, за одну операцию (создание одной фотографии) можно снять изображение 1 - 4 печатных плат.

Шаг 2: с погруженных на конвейер ПП, снимаются изображения. Эти изображения передаются в машину для проведения анализа.

Шаг 3: нейросетевые алгоритмы принимают решение о соответствии изделия. Загружают информацию в базу данных о продукции.

Шаг 4: печатные платы поступают на сортировку, где соответствующие печатные платы отправляют на склад для погрузки, а несоответствующие на доработку.

В соответствии с такой схемой, можно разработать процессы автоматического контроля качества печатных плат простой топологии.

4.2 Экономическое обоснование

Для выявления преимуществ в быстродействии была разработана карта потока создания ценности, на которой отражены временные затраты, на выполнение, необходимых операций. Карта сравнение ВОК представлена на рисунке 8, карта сравнения рентгеновского контроля представлена на рисунке 9.

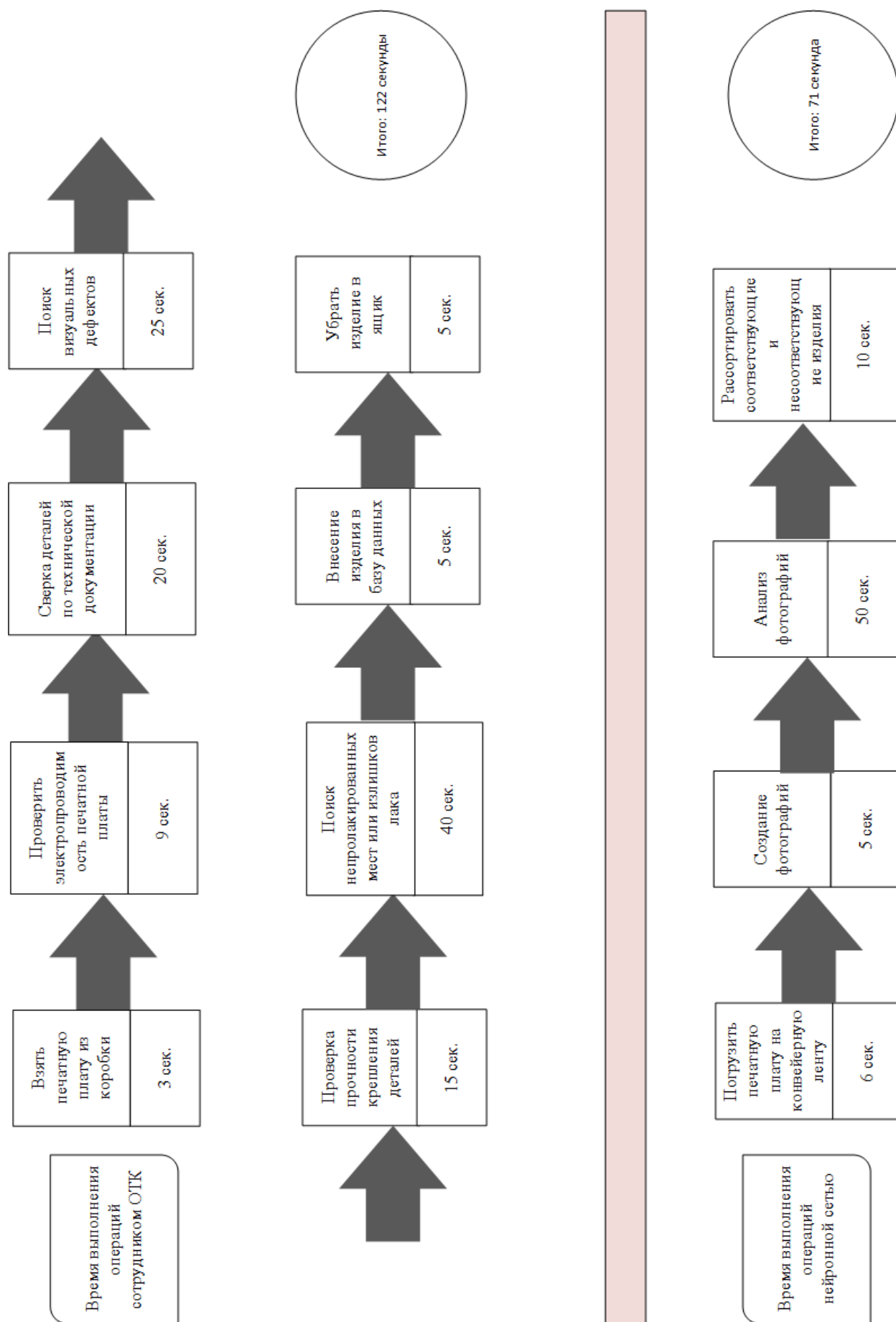


Рисунок 8 – Карта потока создания ценности ВОК

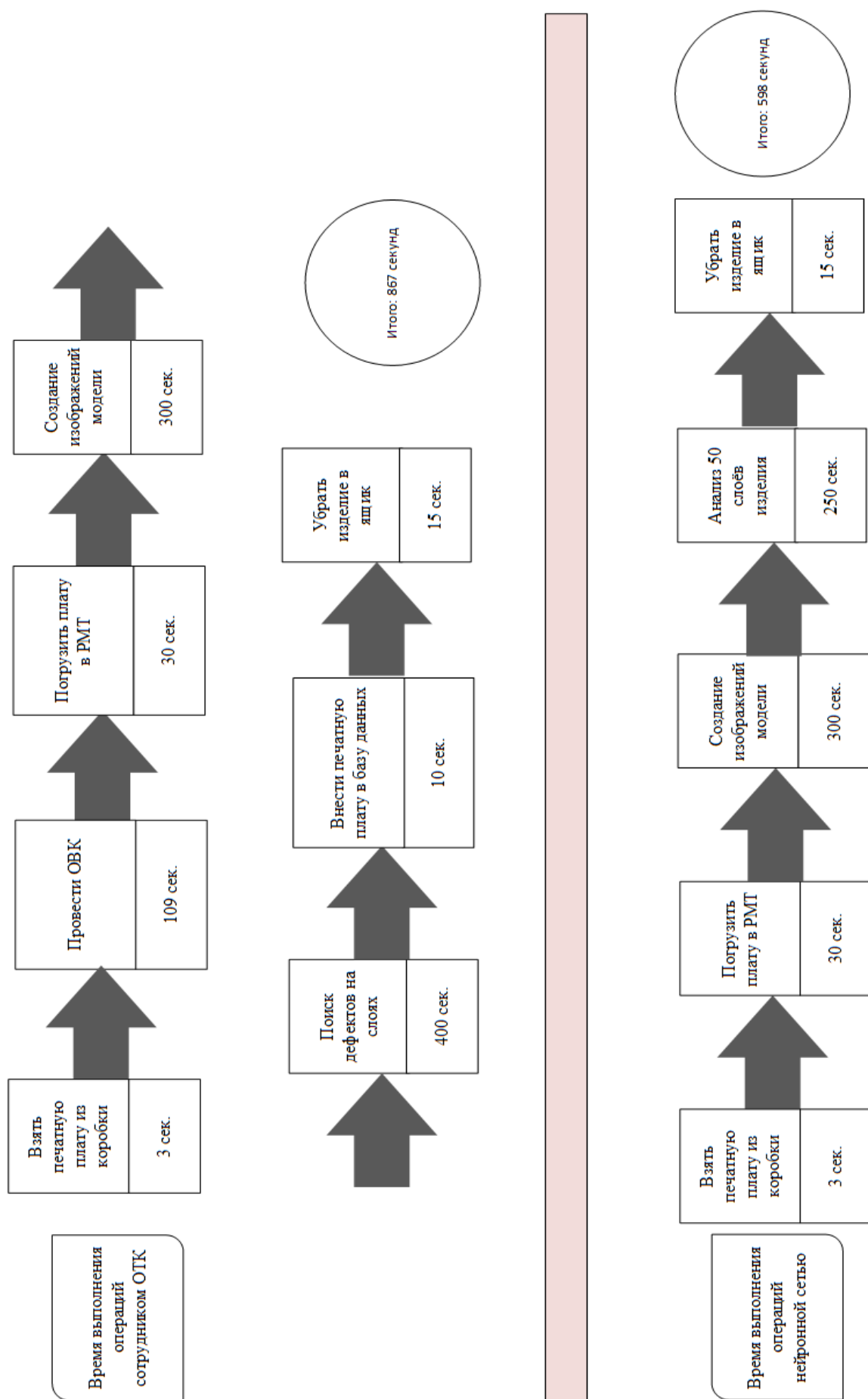


Рисунок 9 – Карта потока создания ценности рентгеновского метода

Таким образом, применение нейронных сетей позволит ускорить процесс рентгеновского контроля печатной платы размером 150 x 100 мм, в среднем, на 269 секунд, а время ВОК такой же платы на 51 секунду, при внедрении подобной системы.

Более подробное сравнение затрат на процесс контроля качества представлено в таблице 11, выбраны цены для Томской области.

Таблица 11 – Таблица сравнения оборудования и сотрудников ОТК в дефектоскопии

Параметр	Сотрудник	АОИ	Нейронные сети
Ожидаемая точность (ВОК), % не найденной НСП от общего числа продукции	5-8	1-3	5-2
Быстродействие (ВОК), с	122	30	71
Стоимость оборудования (ВОК), рублей	40000	От 8000000	от 125500 до 491500
Ожидаемая точность (рентгеновский контроль), % не найденной НСП от общего числа продукции	20%	Не применяется	5-2
Быстродействие (рентгеновский контроль), с	867	Не применяется	598
Стоимость (рентгеновский контроль), рублей	Такое же, что и при использовании нейронных сетей	Не применяется	Такое же, что и при использовании сотрудников
Амортизация ВОК, рублей/год	3500	800000	от 12550 до 49150

Окончание таблицы 11

Зарплата/затраты на обслуживание, рублей в месяц	51415	35750	35750
--	-------	-------	-------

Таким образом, при сравнении затрат на реализацию и поддержку, можно рассчитать, что применения самого дешевого оборудования с нейронными сетями окупится через 19 месяцев, при условии осуществления более точного и быстрого контроля. В то время как АОИ и более дорогие варианты оборудования могут не окупить своё использование за счет высокой цены амортизации, однако, их преимуществом является более точный контроль и быстроедействие, которые способны благотворно повлиять на жизненный цикл продукции.

4.3 Готовность к внедрению

На данный момент на рынке программных средств автоматизации отсутствует ПО, созданное для обнаружения больших спектров дефектов с помощью нейронных сетей, а также отсутствуют готовые методики, решения и алгоритмы применения подобных технологий. Однако ведется большое количество исследований с целью разработать такое программное обеспечение. Однако, в мире уже существуют автоматические системы оптического контроля, которые способны находить следующие дефекты: отсутствие, смещение, поворот, полярность, перевёрнутое положение, OCV/OCR, кромки припоя, billboarding, приподнятые выводы, приподнятый корпус, эффект «надгробный камень», перемычки [31]. Наличие АОИ, также указывает на формирование нового рынка автоматизированных систем контроля качества. Однако, высокая стоимость такой установки, не позволяет применять их на малых и средних предприятиях.

Также, стоит отметить, что существуют специализированные для отдельных областей исследований, программные продукты, включающие в свой состав модули, частично применимые в области распознавания дефектов печатных плат, но не позволяющие произвести полноценную автоматизацию.

4.4 Рекомендации по реализации контроля качества печатных плат с помощью систем технического зрения

В рамках ВКР, разработаны методы контроля, описанные ниже.

1. Поверхностный сплошной (используется вместо визуально-оптического контроля) с использованием фотокамеры, закрепленной над конвейерной лентой. С печатной платы снимается малое количество изображений и формируется меньшее

количество слоев (1-2), это позволит производить быстрый контроль качества крупносерийных печатных плат.

2. Использование РМТ контроля. Для печатных плат сложной топографии и важного назначения рекомендуется использовать рентгеновский метод контроля. С печатных плат снимается большее количество изображения и моделируется большое количество слоев, таким образом можно обнаружить внутренние дефекты. Также этот метод можно применять при выполнении экспертизы, по требованию ОТК, при определении причин отказов. [33]

Шаг 1: рабочий или механизм загружает печатную плату в специальный контейнер, который позволит корректное расположение объекта в сканере.

Шаг 2: погрузить печатную плату в сканер.

Шаг 3: нейросеть получает информацию о модели, топологии печатных плат.

Шаг 4: нейросеть выбирает количество и разрешение изображений, слоев для описания печатной платы.

Шаг 5: нейросеть выбирает параметры, при соответствии которым плата является НСП.

Шаг 6-7: РМТ или сканер делают снимки объекта и из этих снимков реконструируют слои печатных плат. При необходимости контроля внутренних слоев печатной платы, изображения реконструируются методом обратного проецирования. Эти шаги повторяются количество раз, заданное на шаге 4.

Шаг 8: программное обеспечение РМТ проводит предварительную коррекцию начальной информации в срезе поглощения, чтобы сделать конечное изображение более соответствующим реальному объекту, то есть добавляет некоторое количество негативной адсорбции по внешней границе точки, чтобы убрать смазанность, присущую процессу обратного проецирования [1].

Шаг 9: нейросеть производит удаление шумов (сглаживание или фильтрация), улучшение контрастности (преобразование шкалы яркости с помощью интерполяционных методов, обострение) для дальнейшей, а также коррекция искажений изображений, для дальнейшей сегментации изображения.

Шаг 10: нейросеть разбивает печатную плату на сегменты, фрагменты или элементы имеющие особенности. Для сегментации используется метод контурных линий или нахождением однородных областей, то есть система ищет области изменения изображения в слое или изображении.

Шаг 11: нейросеть выявляет признаки изображения, преобразует изображения в совокупность количественных и качественных характеристик, вычисляет характеристики, инвариантные к преобразованиям изображений объектов в рабочей модели.

Шаг 12: из изображений создаётся модель объекта.

Шаг 13: нейросеть выполняет следующие виды работ:

- сравнение с эталоном путем сверки с эталонными характеристиками (эталонной печатной платой без дефектов);

- применяет статистические методы и структурно-логические методы для выявления дефектов;

- локализирует дефекты печатной платы;

- определяет геометрические параметры дефекта (длина, высот и площадь);

- классифицирует дефекты.

Шаг 14: нейросеть принимает решение о соответствии объекта.

Шаг 15: рабочий забирает печатные платы и информации о соответствии образцов.

Шаг 16.1: рабочий отправляет соответствующие печатные платы на склад для отправки заказчику.

Шаг 16.2: рабочий отправляет несоответствующие печатные платы на доработку.

Схема работы контроля качества печатных плат с помощью СТЗ, в общем виде, указана на рисунке 10.

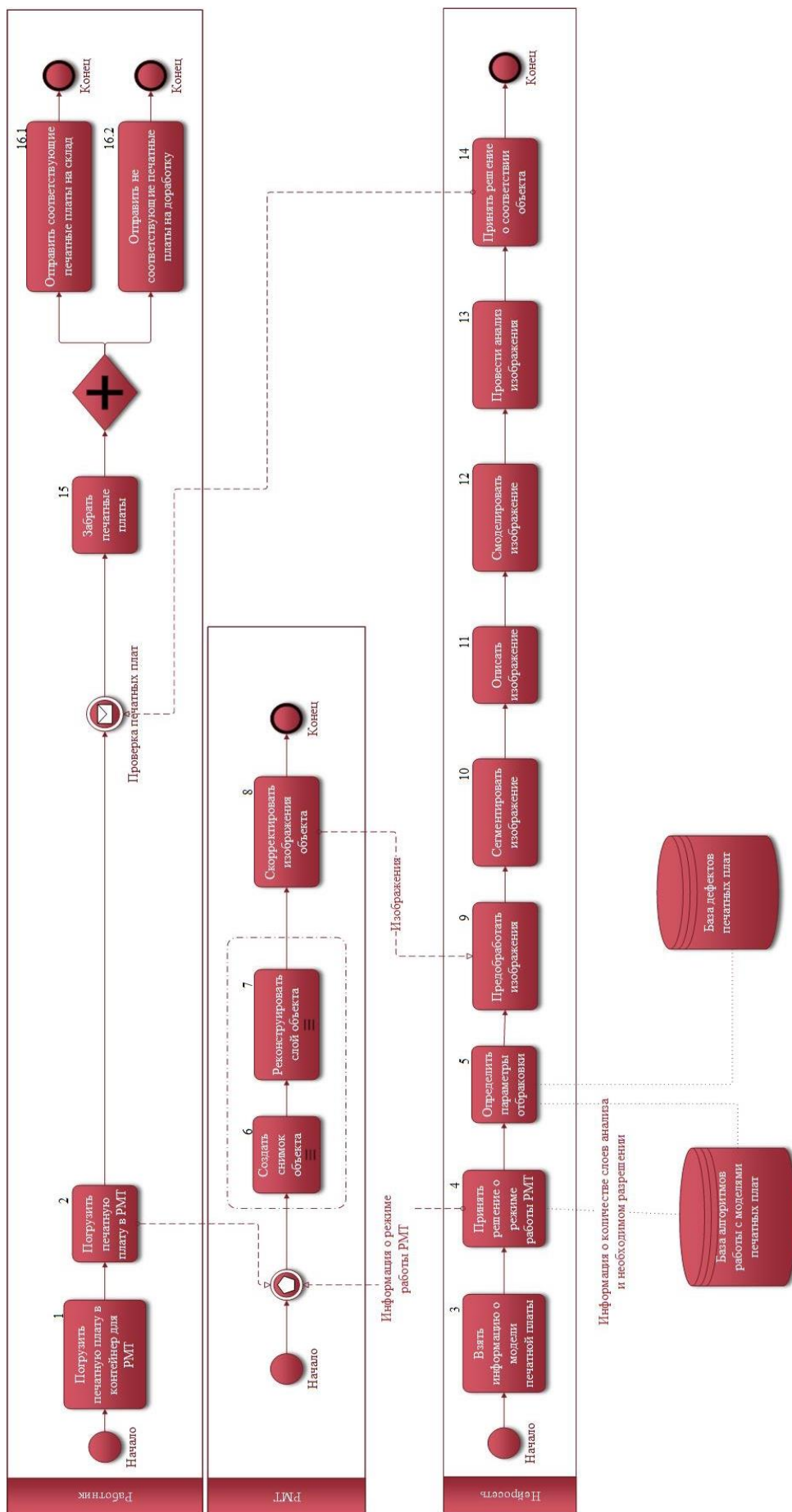


Рисунок 10 – Схема работы процесса контроля качества

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе рассматривался процесс дефектоскопии печатных плат. В качестве модернизации этого процесса было предложено применение РМТ и нейронных сетей. Главной целью проведенной работы, является: оценка целесообразности и разработка процесса контроля качества печатных плат с помощью систем технического зрения и нейронных сетей и оптимизация процесса неразрушающего контроля печатных плат.

В работе описаны дефекты печатных плат, методы контроля качества, основные характеристики этих методов, процессы дефектоскопии печатных плат, профессиональные риски сотрудников отдела технического контроля, основы работы нейронных сетей и систем технического зрения.

Также, в рамках работы были изучены материалы о способах и случаях применения контроля с помощью нейронных сетей, а также принципы организации такого метода контроля. Также была разработана модель в соответствии с которой, можно организовать процесс контроля качества печатных плат с помощью РМТ и нейронных сетей без участия человека.

Исходя из проведенного анализа процесса контроля качества с участием сотрудников ОТК, было выявлено, что применение нейронных сетей в процессе дефектоскопии позволяет значительно ускорить его. Кроме этого, применение нейронных сетей, увеличивает точность дефектоскопии, снизить профессиональные риски.

В работе представлены стоимость, преимущества и основные риски применения систем технического зрения в контроле качества, а также приведено сравнение СТЗ с возможностями работника.

По итогам работы были разработаны следующие рекомендации для реализации автоматизированного процесса контроля качества печатных плат:

- автоматизировать процессы дефектоскопии ПП;
- применять рентген в контроле качества ПП сложной топологии;
- при проведении ВОК, использовать камеры высокого разрешения для создания большего числа ПП на одной фотографии;
- использовать контейнеры или магазины для решения проблемы позиционирования ПП.

Кроме этого, указаны основные плюсы и минусы внедрения автоматизации в дефектоскопию.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yang Y., Kang H. An Enhanced Detection Method of PCB Defect Based on Improved YOLOv7 // Electronics. - 2023. – Vol. 12. – №2120.
2. Pramerdorfer, C.; Kampel, M. A dataset for computer-vision-based PCB analysis. In Proceedings of the 2015 14th IAPR International Conference on Machine Vision Applications (MVA), Tokyo, Japan, 18–22 May 2015; С. 378–381.
3. ГОСТ Р 53429-2009. Платы печатные. Основные параметры конструкции : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2010-07-01. – М. : Стандартинформ, 2014.
4. ГОСТ Р 55490-2013. Платы печатные. Общие технические требования к изготовлению и приемке : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2014-03-03. – М. : Стандартинформ, 2013.
5. Глебова, А. А. Метод рентгеновского контроля печатных плат / А. А. Глебова // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО : Материалы XLVI научной и учебно-методической конференции, Санкт-Петербург, 31 января – 02 2017 года. Том 6. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2017. – С. 46-49.
6. Интеллектуальные системы 4-й промышленной революции : сборник материалов IV Международного форума, Томск, 15–16 декабря 2021 года. – Томск: Общество с ограниченной ответственностью "СТТ", 2022. – 104 с.
7. Интеллектуальные робототехнические и мехатронные системы : учеб. пособие / под ред. В.И. Сырямкина. – Томск, 2017. – 256 с. (Серия: “Интеллектуальные технические системы” (подсерия: “Когнитивная робототехника”)).
8. Аксенов С.В., Новосельцев В.Б. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии). Томск: Издательство научно-технической литературы, 2006. – 128 с.
9. Жумагалиева, А. Ж. Построение математической модели распознавания образов / А. Ж. Жумагалиева // Статистика, учет и аудит. – 2015. – № 1(56). – С. 125-128.
10. Изосимова, Т. А. Разработка автоматизированной системы управления диагностикой печатных плат на основе машинного зрения / Т. А. Изосимова, М. В. Максимова, О. В. Михайлова // Вестник НГИЭИ. – 2018. – № 1(80). – С. 7-18.
11. Методы вторичной обработки и распознавания изображения: учебное пособие / А.Ю. Тропченко, А.А. Тропченко. СПб. : Университет ИТМО, 2015. 215 с

12. Doudkin A. A., Inyutin A. V. The Defect and Project Rules Inspection on PCB Layout Image // International Journal of Computing. – 2006. – № 3. С. 107–111.
13. Леонов, С. Н. Распознавание неупорядоченных деталей на видеоряде с помощью интеллектуальных систем технического зрения / С. Н. Леонов, В. В. Головков, И. И. Яковлев // Евразийский союз ученых. – 2016. – № 5-2(26). – С. 50-52.
14. Ручкин, В. Н. Возможности использования распознавания образов в мехатронике на примере концептуальной модели / В. Н. Ручкин, Г. А. Солдатов // Информатика и прикладная математика. – 2019. – № 25. – С. 112-118.
15. Круглов, М. А. Распознавание образов с использованием контуров объектов / М. А. Круглов, Н. В. Андреянов, Д. Н. Сафина // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – № 8. – С. 21-23.
16. Головко В.А. Нейроинтеллект: Теория и применения. Книга 2. Самоорганизация, отказоустойчивость и применение нейронных сетей. //Беларусь, – Брест: БПИ, 1999, – 228с.
17. Головко В.А. Нейроинтеллект: Теория и применения. Книга1. Организация и обучение нейронных сетей с прямыми и обратными связями//Беларусь,. – Брест: БПИ, 1999, – 260с.
18. Зарплаты: Контроллер ОТК, Россия, апрель 2023 года // Обзоры и статистика зарплат – [Б. м.], 2021. – URL : <https://zarplan.com/zarplata/%D0%9A%D0%9E%D0%9D%D0%A2%D0%A0%D0%9E%D0%9B%D0%81%D0%A0%20%D0%9E%D0%A2%D0%9A/%D0%A0%D0%9E%D0%A1%D0%A1%D0%98%D0%AF/> (дата обращения: 10.05.2023).
19. Работа, поиск персонала и публикация вакансий // HeadHunter – [Б. м.], 2023. – URL : <https://hh.ru/> (дата обращения: 10.05.2023).
20. Зарплата контроллера ОТК в России за 2023 год // Система поиска работ: Город работ – [Б. м.], 2021. – URL : <https://gorodrabot.ru/salary?p=%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%80+%D0%BE%D1%82%D0%BA&l=%D0%BC%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B2%D0%B0> (дата обращения: 04.06.2023).
21. Михнюк Т.Ф. Охрана труда. Учебник (с грифом Министерства образования Республики Беларусь) . – Мн.: « ИВЦ МинФина », 2009. – 365 с
22. Риск-менеджмент: Учебное пособие / Под ред. К.В. Балдина. – М.: Эксмо, 2006. – 368 с.
23. Томаровщенко, О. Н. Оценка профессионального риска контролера ОТК при производстве соевого шрота / О. Н. Томаровщенко, И. В. Прушковский // Молодежь и

научно-технический прогресс : Сборник докладов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2-х томах, Губкин, 09 апреля 2020 года / Составители: Е.Н. Иванцова, В.М. Уваров [и др.]. Том 1. – Старый Оскол: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2020. – С. 436-440.

24. Браун А. А. Анализ рисков в системе управления организацией : магистерская диссертация / А. А. Браун ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт неразрушающего контроля (ИНК), Кафедра физических методов и приборов контроля качества (ФМПК) ; науч. рук. Л. А. Редько. — Томск, 2016.

25. ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация : межгосударственный стандарт : дата введения 2017-03-01. –М. : Стандартиформ, 2019.

26. Фотоаппараты Nikon // Nikon: цифровые фотокамеры, объективы принадлежности для съёмки – [Б. м.], 2023. URL : https://www.nikon.ru/ru_RU/ (дата обращения: 03.06.2023).

27. Фотокамеры Canon // Canon – Russia – [Б. м.], 2023. URL : <https://www.canon.ru/> (дата обращения: 03.06.2023).

28. Sony Россия // Фирменный интернет-магазин Sony – [Б. м.], 2023. URL : https://store.sony.ru/photo_video/ (дата обращения: 03.06.2023).

29. Моисеенко Е. А. Оптический контроль печатных плат согласно международным стандартам IPC-A-610 RU И IPC-A-600G / Е. А. Моисеенко, В. М. Хайдукова ; науч. рук. А. Н. Калиниченко // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее : сборник научных трудов III Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, 06 - 11 октября 2014 г. : в 4 ч. — Томск : Изд-во ТПУ, 2014. — Ч. 1. — [С. 163-166].

30. Системы 3D автоматической оптической инспекции // ДиалУрал – [Б. м.], 2023. URL : <http://dialural.ru/sistema-3d-avtomaticheskoy-opticheskoy-inspektsii-s-funktsiyey-izmereniya-zenith-koh-young-technology> (дата обращения: 03.06.2023).

31. Система автоматической инспекции Zenith // Печатные платы контрактное производство, монтаж плат – А-контракт – М., 2023. URL : <https://a-contract.ru/produkcija/kachestvo-produkcii-a-kontrakt/avtomaticheskii-opticheskii-kontrol/sistema-avtomaticheskoi-opticheskoi-inspekcii-zenith> (дата обращения: 03.06.2023).

32. Оборудование для производства электроники // ЛионТех, оборудование для монтажа печатных плат – [Б. м.], 2023. URL : <https://liontech.ru/catalog/oborudovanie-dlya-proizvodstva-elektroniki/konveyernye-sistemy/> (дата обращения: 03.06.2023).

33. Павлов, А. Опыт применения установок рентгеновского контроля для оценки качества многослойных печатных плат. За и против / А. Павлов, А. Зарубин // Технологии в электронной промышленности. – 2014. – № 6(74). – С. 70-74.



АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

СПРАВКА

Томский Государственный Университет

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

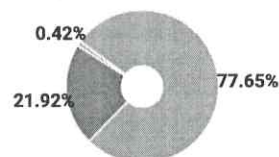
ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Цвингер Валерий Анатольевич
Самоцитирование
рассчитано для: Цвингер Валерий Анатольевич
Название работы: Цвингер В.А. Оценка возможности применения нейронных сетей и рентгеновского микротомографа в контроле качества печатных плат.docx
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Факультет инновационных технологий

РЕЗУЛЬТАТЫ

СОВПАДЕНИЯ	21.92%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	77.65%
ЦИТИРОВАНИЯ	0.42%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 22.06.2023



Структура документа:
Модули поиска:

Проверенные разделы: основная часть с.3-48

ИПС Адилет; Библиография; Сводная коллекция ЭБС; Интернет Плюс*; Сводная коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Переводные заимствования издательства Wiley; eLIBRARY.RU; СПС ГАРАНТ: аналитика; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; Медицина; Диссертации НББ; Коллекция НБУ; Перефразирования по eLIBRARY.RU; Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика; Перефразирования по Интернету; Перефразирования по Интернету (EN); Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирования по коллекции

Работу проверил: Долгая Дарья Александровна

ФИО проверяющего

Дата подписи:

22.06.2023

Подпись проверяющего



Чтобы убедиться
в подлинности справки, используйте QR-код,
который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

Отчет о проверке на заимствования №1



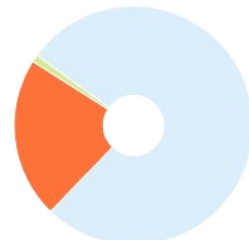
Автор: Цвингер Валерий Анатольевич
Проверяющий: Долгая Дарья Александровна
Организация: Томский Государственный Университет
Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - <http://tsu.antiplagiat.ru>

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 547
Начало загрузки: 22.06.2023 14:16:38
Длительность загрузки: 00:00:07
Имя исходного файла: Цвингер В.А. Оценка возможности применения нейронных сетей и рентгеновского микротомографа в контроле качества печатных плат.docx.pdf
Название документа: Цвингер В.А. Оценка возможности применения нейронных сетей и рентгеновского микротомографа в контроле качества печатных плат.docx
Размер текста: 70 кБ
Тип документа: Выпускная квалификационная работа
Символов в тексте: 71775
Слов в тексте: 8201
Число предложений: 493

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Начало проверки: 22.06.2023 14:16:46
Длительность проверки: 00:03:23
Комментарии: не указано
Поиск с учетом редактирования: да
Проверенные разделы: основная часть с. 3-48
Модули поиска: ИПС Адилет, Библиография, Сводная коллекция ЭБС, Интернет Плюс*, Сводная коллекция РГБ, Цитирование, Переводные заимствования (RuEn), Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu), Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика, Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте, Переводные заимствования по Интернету (EnRu), Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте, Переводные заимствования издательства Wiley, eLIBRARY.RU, СПС ГАРАНТ: аналитика, СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация, Медицина, Диссертации НББ, Коллекция НБУ, Перефразирования по eLIBRARY.RU, Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика, Перефразирования по Интернету, Перефразирования по Интернету (EN), Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте, Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте, Перефразирования по коллекции издательства Wiley, Патенты СССР, РФ, СНГ, СМИ России и СНГ, Шаблонные фразы, Модуль поиска "tsu", Кольцо вузов, Издательство Wiley, Переводные заимствования



СОВПАДЕНИЯ	САМОЦИТИРОВАНИЯ	ЦИТИРОВАНИЯ	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ
21,92%	0%	0,42%	77,66%

Совпадения — фрагменты проверяемого текста, полностью или частично сходные с найденными источниками, за исключением фрагментов, которые система отнесла к цитированию или самоцитированию. Показатель «Совпадения» — это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к совпадениям, в общем объеме текста.

Самоцитирование — фрагменты проверяемого текста, совпадающие или почти совпадающие с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа. Показатель «Самоцитирования» — это доля фрагментов текста, отнесенных к самоцитированию, в общем объеме текста.

Цитирование — фрагменты проверяемого текста, которые не являются авторскими, но которые система отнесла к корректно оформленным. К цитированиям относятся также шаблонные фразы; библиография; фрагменты текста, найденные модулем поиска «СПС Гарант: нормативно-правовая документация». Показатель «Цитирования» — это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к цитированию, в общем объеме текста.

Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.

Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.

Оригинальный текст — фрагменты проверяемого текста, не обнаруженные ни в одном источнике и не отмеченные ни одним из модулей поиска. Показатель «Оригинальность» — это доля фрагментов проверяемого текста, отнесенных к оригинальному тексту, в общем объеме текста.

«Совпадения», «Цитирования», «Самоцитирования», «Оригинальность» являются отдельными показателями, отображаются в процентах и в сумме дают 100%, что соответствует полному тексту проверяемого документа.

Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые совпадения проверяемого документа с проиндексированными в системе источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности совпадений или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в тексте	Доля в отчете	Источник	Актуален на	Модуль поиска	Блоков в отчете	Блоков в тексте	Комментарии
[01]	4,27%	0%	Скачать PDF http://books.ifmo.ru	09 Дек 2019	Интернет Плюс*	0	13	
[02]	4,27%	0%	https://books.ifmo.ru/file/pdf/1798.pdf https://books.ifmo.ru	06 Июн 2020	Интернет Плюс*	0	13	
[03]	4,27%	0%	https://books.ifmo.ru/file/pdf/1798.pdf https://books.ifmo.ru	08 Июн 2020	Интернет Плюс*	0	13	
[04]	4,27%	0%	https://books.ifmo.ru/file/pdf/1798.pdf https://books.ifmo.ru	03 Апр 2019	Интернет Плюс*	0	13	
[05]	4,27%	0%	А. Ю. Тропченко, А.А. Тропченко МЕТ... https://docplayer.ru	10 Июн 2019	Интернет Плюс*	0	13	
[06]	4,24%	0%	Методы вторичной обработки и расп... https://e.lanbook.com	22 Янв 2020	Сводная коллекция ЭБС	0	5	
[07]	4,12%	0%	https://books.ifmo.ru/file/pdf/1798.pdf https://books.ifmo.ru	18 Янв 2022	Интернет Плюс*	0	7	
[08]	4,12%	0%	https://books.ifmo.ru/file/pdf/1798.pdf https://books.ifmo.ru	18 Апр 2022	Интернет Плюс*	0	7	
[09]	3,93%	1,31%	Альманах научных работ молодых у... http://research.ifmo.ru	18 Июл 2018	Интернет Плюс*	9	19	

[10]	3,75%	1,36%	Альманах научных работ молодых у... http://research.ifmo.ru	20 Янв 2018	Интернет Плюс*	3	17	
[11]	3,63%	0%	АЛЬМАНАХ НАУЧНЫХ РАБОТ МОЛОД... https://docplayer.ru	16 Янв 2020	Интернет Плюс*	0	27	
[12]	2,59%	2,59%	https://files.stroyinf.ru/Data/552/55236.... https://files.stroyinf.ru	22 Мар 2020	Интернет Плюс*	4	4	
[13]	2,53%	0%	ГОСТ Р 55490-2013 Платы печатные. О... http://docs.cntd.ru	22 Апр 2020	Интернет Плюс*	0	3	
[14]	2,53%	0%	ГОСТ Р 55490-2013 Платы печатные. О... http://docs.cntd.ru	05 Июн 2022	Интернет Плюс*	0	3	
[15]	2,51%	1,95%	АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИНЕЙ... http://elibrary.ru	раньше 2011	Перефразирования по eLIBRARY.RU	1	2	
[16]	2,49%	0%	https://www.elec.ru/files/2019/01/25/go... https://elec.ru	08 Июн 2023	Интернет Плюс*	0	10	
[17]	2,33%	2,33%	Компьютерное зрение: распознаван... http://revolution.allbest.ru	29 Янв 2017	Перефразирования по Интернету	1	1	
[18]	2,26%	0%	Компьютерное зрение: распознаван... http://revolution.allbest.ru	06 Мар 2015	Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте	0	1	
[19]	2,25%	1,37%	ОСОБЕННОСТИ РЕНТГЕНОВСКОГО К... http://elibrary.ru	18 Июн 2020	eLIBRARY.RU	4	5	
[20]	2,2%	0%	5 САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНА... http://diss.seluk.ru	раньше 2011	Интернет Плюс*	0	5	
[21]	2,08%	0%	ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА И РАСПОЗ... https://elibrary.ru	31 Дек 2021	eLIBRARY.RU	0	5	
[22]	2,02%	0%	Распознавание изображений - Контр... http://lib.znate.ru	24 Июн 2018	Интернет Плюс*	0	9	
[23]	1,95%	1,68%	РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННО... http://elibrary.ru	21 Фев 2018	Перефразирования по eLIBRARY.RU	2	3	
[24]	1,94%	0,54%	Разработка автоматизированной сис... https://spravochnik.ru	08 Июн 2023	Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте	1	2	
[25]	1,94%	0,64%	РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННО... http://elibrary.ru	21 Фев 2018	eLIBRARY.RU	3	5	
[26]	1,89%	0,9%	Скачать>> http://sci.vlsu.ru	29 Янв 2017	Перефразирования по Интернету	1	3	
[27]	1,89%	0%	Скачать>> (17/107) http://sci.vlsu.ru	08 Янв 2017	Перефразирования по Интернету	0	3	
[28]	1,88%	0,01%	не указано http://ci.ru	29 Янв 2017	Перефразирования по Интернету	1	3	
[29]	1,86%	0%	https://www.electronics.ru/files/article_... https://electronics.ru	08 Июн 2023	Интернет Плюс*	0	12	
[30]	1,78%	0%	Разработка автоматизированной сис... https://spravochnik.ru	08 Июн 2023	Интернет Плюс*	0	7	
[31]	1,66%	0%	Разработка автоматизированной сис... https://cyberleninka.ru	18 Ноя 2021	Интернет Плюс*	0	4	
[32]	1,66%	0%	http://vestnik.ngiei.ru/wp-content/uplo... http://vestnik.ngiei.ru	30 Ноя 2022	Интернет Плюс*	0	4	
[33]	1,61%	1,61%	Опыт применения установок рентген... http://elibrary.ru	11 Мая 2018	eLIBRARY.RU	4	4	
[34]	1,42%	0,94%	VKR_Alyoshka_18708_2019_ver4.docx	08 Июн 2019	Модуль поиска "tsu"	4	5	
[35]	1,21%	0%	АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИНЕЙ... http://elibrary.ru	раньше 2011	eLIBRARY.RU	0	4	
[36]	1,12%	0,07%	131642 http://e.lanbook.com	10 Мар 2016	Сводная коллекция ЭБС	1	4	
[37]	0,96%	0,63%	СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР ИДЕНТИФИ... http://elibrary.ru	08 Янв 2018	Перефразирования по eLIBRARY.RU	1	2	
[38]	0,85%	0%	не указано	29 Сен 2022	Шаблонные фразы	0	15	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[39]	0,79%	0%	Приказ министерства культуры Крас... http://ivo.garant.ru	25 Мая 2022	СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация	0	4	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[40]	0,75%	0%	Чжи Я Аунг диссертация ... кандидата ... http://dlib.rsl.ru	раньше 2011	Сводная коллекция РГБ	0	2	
[41]	0,7%	0%	Алгоритм поиска и классификации де... https://docplayer.ru	09 Сен 2021	Интернет Плюс*	0	5	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[42]	0,69%	0,69%	Ресурсоэффективные системы в упра... https://core.ac.uk	20 Янв 2023	Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте	1	1	
[43]	0,69%	0%	Оптический контроль печатных плат ... https://core.ac.uk	19 Янв 2023	Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте	0	1	
[44]	0,67%	0,67%	Овечкин, Максим Владимирович дис... http://dlib.rsl.ru	25 Дек 2015	Сводная коллекция РГБ	2	2	
[45]	0,67%	0,49%	Подробнее о разработке софта рентг... http://pcnews.ru	18 Мая 2016	СМИ России и СНГ	1	2	
[46]	0,66%	0%	Конструирование узлов и устройств э... http://studentlibrary.ru	19 Дек 2016	Медицина	0	2	
[47]	0,62%	0%	2022 ЭСИБ УП Абрамов АД Введение в...	29 Ноя 2022	Кольцо вузов	0	2	

[48]	0,62%	0%	Материалы одним файлом https://belstu.by	31 Окт 2022	Интернет Плюс*	0	6	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[49]	0,56%	0,4%	Искусственный интеллект: возможно... https://elibrary.ru	31 Дек 2021	eLIBRARY.RU	1	2	
[50]	0,54%	0,54%	ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ Р... http://elibrary.ru	12 Фев 2019	Перефразирования по eLIBRARY.RU	1	1	
[51]	0,5%	0%	МЕТОДЫ БИОМЕТРИИ НА ОСНОВЕ Н... http://elibrary.ru	28 Янв 2019	eLIBRARY.RU	0	2	
[52]	0,49%	0,49%	Управление качеством Иваново 2013 http://dlib.rsl.ru	05 Авг 2019	Сводная коллекция РГБ	1	1	
[53]	0,47%	0,47%	Конкурсная документация (4/6) http://2007.fcpir.ru	08 Янв 2017	Перефразирования по Интернету	1	1	
[54]	0,42%	0%	Справочник мастера машиностроите... http://studentlibrary.ru	27 Ноя 2017	Сводная коллекция ЭБС	0	1	
[55]	0,42%	0%	Основы автоматизированного проек... http://ibooks.ru	09 Дек 2016	Сводная коллекция ЭБС	0	1	
[56]	0,42%	0%	1.8. Проектное обучение в инженерн... https://elibrary.ru	31 Дек 2021	eLIBRARY.RU	0	1	
[57]	0,42%	0%	Результаты научно-технической деят...	31 Дек 2018	СМИ России и СНГ	0	1	
[58]	0,42%	0,42%	Постановление Министерства по чре... http://ivo.garant.ru	30 Июн 2021	СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация	1	1	
[59]	0,42%	0%	Постановление Правительства Пермс... http://ivo.garant.ru	25 Авг 2014	СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация	0	1	
[60]	0,42%	0%	Постановление Правительства Пермс... http://ivo.garant.ru	03 Мая 2012	СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация	0	1	
[61]	0,42%	0%	Постановление Правительства Пермс... http://ivo.garant.ru	22 Авг 2013	СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация	0	1	
[62]	0,42%	0%	Application of IDEF0 functional modelin... https://e3s-conferences.org	22 Июл 2022	Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте	0	1	
[63]	0,42%	0%	https://inti.expert/upload/iblock/4a5/a... https://inti.expert	20 Июн 2023	Интернет Плюс*	0	1	
[64]	0,41%	0%	https://www.gumanitar-intercollege.ru/i... https://gumanitar-intercollege.ru	27 Мар 2020	Интернет Плюс*	0	3	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[65]	0,4%	0%	Инжиниринг объектов интеллектуал... http://studentlibrary.ru	19 Дек 2016	Медицина	0	1	
[66]	0,4%	0%	Научно-практический комментарий ... http://ivo.garant.ru	29 Окт 2011	СПС ГАРАНТ: аналитика	0	1	
[67]	0,4%	0,25%	Опыт применения установок рентген... http://elibrary.ru	11 Мая 2018	Перефразирования по eLIBRARY.RU	1	1	
[68]	0,39%	0%	МЕТОДЫ БИОМЕТРИИ НА ОСНОВЕ Н... http://elibrary.ru	28 Янв 2019	Перефразирования по eLIBRARY.RU	0	1	
[69]	0,39%	0%	Методы и алгоритмы обработки и ан... http://dep.nlb.by	11 Ноя 2016	Диссертации НББ	0	1	
[70]	0,39%	0%	Научно-технический вестник Поволж... http://bibliorossica.com	26 Мая 2016	Сводная коллекция ЭБС	0	1	
[71]	0,37%	0%	Технологический процесс — Карта зн... https://kartaslov.ru	28 Апр 2022	Интернет Плюс*	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[72]	0,35%	0%	Тур, Александр Игоревич Иерархичес... http://dlib.rsl.ru	16 Июн 2021	Сводная коллекция РГБ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[73]	0,35%	0%	Беляков, Игорь Александрович диссе... http://dlib.rsl.ru	28 Фев 2014	Сводная коллекция РГБ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[74]	0,35%	0%	Метод и средство повышения эффект... http://dep.nlb.by	20 Дек 2016	Диссертации НББ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[75]	0,35%	0%	МНД Аналитические обзоры 2020-2021	17 Янв 2023	Кольцо вузов	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[76]	0,35%	0%	диплом7	11 Июн 2023	Кольцо вузов	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[77]	0,35%	0%	194439 http://e.lanbook.com	10 Мар 2016	Сводная коллекция ЭБС	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[78]	0,35%	0%	ИНФОРМАТИКА ДЛЯ ГУМАНИТАРИЕВ...	22 Фев 2017	Сводная коллекция ЭБС	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[79]	0,35%	0%	Уникальная технология: В Литве кор... http://rus.tvnet.lv	04 Янв 2019	СМИ России и СНГ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[80]	0,35%	0%	Современные технологии профилакт... http://emil.ru	21 Дек 2016	Медицина	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.

[81]	0,35%	0%	https://core.ac.uk/download/pdf/80134... https://core.ac.uk	06 Июн 2022	Интернет Плюс*	0	2	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[82]	0,35%	0%	Что такое средство контроля https://deepcloud.ru	12 Сен 2022	Интернет Плюс*	0	2	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[83]	0,35%	0%	Лейбов, Алексей Михайлович Методи... http://dlib.rsl.ru	20 Авг 2019	Сводная коллекция РГБ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[84]	0,33%	0%	Искусственный интеллект и его роль ... http://ivo.garant.ru	28 Мая 2022	СПС ГАРАНТ: аналитика	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[85]	0,33%	0%	Искусственный интеллект и его роль ... http://ivo.garant.ru	28 Мая 2022	ПЕРЕФРАЗИРОВАНИЯ ПО СПС ГАРАНТ: аналитика	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[86]	0,33%	0%	http://www.spoisu.ru/files/ri/ri2022/ri20... http://spoisu.ru	17 Фев 2023	Интернет Плюс*	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[87]	0,32%	0%	Е. Н. Михеева, М. В. Сероштан Управл... http://dlib.rsl.ru	01 Дек 2014	Сводная коллекция РГБ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[88]	0,32%	0%	Управление качеством http://studentlibrary.ru	27 Ноя 2017	Сводная коллекция ЭБС	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[89]	0,32%	0%	Управление качеством http://studentlibrary.ru	19 Дек 2016	Медицина	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[90]	0,32%	0%	https://icmmg.nsc.ru/sites/default/files/... https://icmmg.nsc.ru	30 Мар 2022	Интернет Плюс*	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[91]	0,32%	0%	20.04.01_2022_Чиркова К.С	23 Апр 2022	Кольцо вузов	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[92]	0,32%	0%	Об утверждении типового положени...	31 Дек 2018	СМИ России и СНГ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[93]	0,32%	0%	Оценка профессиональных рисков в ... http://ivo.garant.ru	19 Фев 2022	СПС ГАРАНТ: аналитика	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[94]	0,32%	0%	http://www.garant.ru/files/0/7/955370/... http://garant.ru	08 Янв 2017	ПЕРЕФРАЗИРОВАНИЯ ПО Интернету	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[95]	0,3%	0%	П. В. Журавлев, С. А. Банников, Г. М. Ч... http://dlib.rsl.ru	29 Мар 2022	Сводная коллекция РГБ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[96]	0,3%	0%	Повышение уровня финансовой усто...	12 Июн 2023	Кольцо вузов	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[97]	0,3%	0%	63891 http://e.lanbook.com	09 Мар 2016	Сводная коллекция ЭБС	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[98]	0,3%	0%	АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ПРЕ... https://elibrary.ru	31 Дек 2021	eLIBRARY.RU	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[99]	0,3%	0%	Производственный процесс http://ru.wikipedia.org	10 Янв 2023	Интернет Плюс*	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[100]	0,3%	0%	Производственный процесс — Викип... https://ru.wikipedia.org	25 Июн 2022	Интернет Плюс*	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[101]	0,3%	0%	дипломная работа Производственны... https://webkursovik.ru	19 Дек 2022	Интернет Плюс*	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[102]	0,3%	0%	Ресурсоэффективные системы в упра... https://core.ac.uk	24 Янв 2022	Интернет Плюс*	0	3	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[103]	0,3%	0%	Ресурсоэффективные системы в упра... https://docplayer.ru	07 Окт 2019	Интернет Плюс*	0	3	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[104]	0,28%	0%	Учет и аудит выпуска готовой продук... https://bibliofond.ru	09 Мая 2023	Интернет Плюс*	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[105]	0,25%	0%	Владимир Петров 5 методов активиза... http://dlib.rsl.ru	05 Авг 2019	Сводная коллекция РГБ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[106]	0,25%	0%	5 методов активизации творчества http://studentlibrary.ru	27 Ноя 2017	Сводная коллекция ЭБС	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[107]	0,25%	0%	Хочешь строить – влезай в "бутылку" http://zrpress.ru	30 Ноя 2018	СМИ России и СНГ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[108]	0,25%	0%	Эффект «бутылочного горлышка» - С... https://vuzdoc.org	22 Июн 2023	Интернет Плюс*	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.

[109]	0,23%	0%	Филин. ВКР. без рисунков	13 Июн 2023	Кольцо вузов	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[110]	0,23%	0%	20.04.01_2022_Нургазина А.А	24 Июн 2022	Кольцо вузов	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[111]	0,21%	0%	Профессиональный микроскоп ВР-52... http://vavito.ru	22 Июн 2023	Интернет Плюс*	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.
[112]	0,1%	0%	Совершенствование теоретических о... http://diss.natlib.uz	26 Дек 2020	Коллекция НБУ	0	1	Источник исключен. Причина: Маленький процент пересечения.