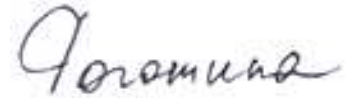


На правах рукописи



**Рогожина Юлия Владимировна**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ШВЕЙНЫХ  
ИЗДЕЛИЙ МАШИНЫМ ЗРЕНИЕМ**

Специальность 2.6.16.

Технология производства  
изделий текстильной и легкой промышленности

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» (ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина») на кафедре Художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий.

**Научный руководитель:** кандидат технических наук, доцент кафедры Художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», г. Москва  
**Гусева Марина Анатольевна**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор кафедры Дизайна и технологий, Институт креативных индустрий, ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет», г. Владивосток  
**Шеромова Ирина Александровна**

кандидат технических наук, доцент кафедры Конструирования и технологии швейных изделий, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», г. Санкт-Петербург  
**Москвина Мария Александровна**

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромской государственный университет»

Защита состоится «13» июня 2024 г. в 12.00 ч. на заседании диссертационного совета 24.2.368.02, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» по адресу: 119071, г. Москва, уд. Малая Калужская, д. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» и на официальном сайте вуза [www.rguk.ru](http://www.rguk.ru).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 24.2.368.02



Мезенцева Татьяна  
Васильевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность работы.**

Швейная отрасль промышленности является стратегически важной для экономики страны, поскольку ее продукция обеспечивает ежедневные потребности как простых граждан, так и служащих государственных учреждений, силовых ведомств, медицинских учреждений и т.д. Особенность современного этапа развития предприятий легкой промышленности – это сотрудничество с аутсорсинг-подрядчиками, дистанционный товарооборот, частая смена ассортимента производственных партий. Интенсивность труда, монотонность визуальной и аналитической нагрузки, высокая ответственность – факторы, потенциально формирующие у сотрудников отделов технического контроля швейных фабрик развитие синдрома эмоционального и физического выгорания. На определенном этапе инспекции инженер ОТК концентрирует внимание на каких-то определенных дефектах в проверяемой выборке, произвольно сужая спектр выявляемых категорий брака. Автоматизацией этапа финального контроля качества готовых изделий комплексно решается проблема возвратности бракованной продукции на доработку.

Контроль качества изготовления швейной продукции машинным зрением особенно актуален на аутсорсинговых производствах, поскольку, помимо языковых барьеров, технолог фирмы-заказчика сталкивается с межнациональными различиями в толковании понятия «качество», часто приводящими к межличностным конфликтам и снижению производственной дисциплины. Стремясь сохранить благоприятный коммуникативный климат на производстве, инспектор-технолог может ослабить шкалу требовательности, что в итоге, приводит к поставкам на российский рынок низкокачественной одежды.

Пережитый мировым сообществом период локдауна показал востребованность полномасштабной цифровизации в легкой промышленности, в том числе, автоматизации этапа контроля качества изготовления продукции. Разработка и внедрение на швейных предприятиях программно-аппаратных комплексов машинного зрения позволит, в том числе дистанционно, полноценно инспектировать аутсорсинговые производства, что формирует потенциал развития новых моделей сотрудничества в отрасли, в том числе на межгосударственном уровне.

Цифровизация экономики в рамках общемировой концепции «Индустрия 4,0» основана на внедрении ИТ-проектов, обеспечивающих реализацию умного производства. Активная разработка научных проектов и прорыв в технологиях распознавания изображений вывели на рынок компьютерные программы, позволяющие машинам обрабатывать визуальную информацию, подобно мыслительной деятельности человека. Результативность работы установленных на

конвейерных производствах программно-аппаратных комплексов, оснащенных контролируемыми качеством продукции опико-электронными системами, определила будущий этап развития как глобальную автоматизацию производств, повсеместное распространение кибер-физических производственных систем, управляемых нейронными сетями.

**Степень научной проработанности проблемы.** Совершенствованию качества швейной продукции из текстильных материалов, кожи и меха, и автоматизации процесса контроля посвящены исследования Алаховой С.С., Андреевой Е.Г., Бекк Н.В., Гетманцевой В.В., Григорьевой З.Р., Гореловой А.Е., Гусевой М.А., Демской А.А., Дремлюги О.А., Ершова В.Н., Железнякова А.С., Завязтого В.И., Замышляевой В.В., Золотцевой Л.В., Зуевой Т.В., Карасева А.И., Кисилева Е.В., Коваль Е.А., Костылевой В.В., Кирсановой Е.А., Кобляковой Е.Б., Корниловой Н.Л., Коринтели А.М., Королевой Л.А., Кузьмичева В.Е., Лапшина В.В., Лобацкой Е.М., Луниной Е.В., Махонь А.Н., Медведева В.Ю., Москвина А.Ю., Москвиной М.А., Мишакова В.Ю., Павлова М.А., Петросовой И.А., Подрядчикова В.А., Подшиваловой А.В., Скрыльниковой О.А., Смирновой Н.А., Соколовского А.Р., Старковой Г.П., Степанова И.О., Сурженко Е.Я, Сухининой Е.В., Ташпулатова С.Ш., Тихоновой Т.П., Трутневой Н.Е., Тухановой В.Ю., Федотовой И.В., Хромеевой И.А., Черуновой И.В., Шеромовой И.А., Шершневой Л.П. и др.

Технологии автоматического распознавания изображений востребованы в управлении и разных отраслях экономики. Первенство в формировании теоретических знаний в области компьютерного зрения и нейросетевой теории машинного обучения принадлежит McCulloch & Pitts (1943), Hebb (1949), David Hubel (1959) и Torsten Wiesel. Oliver Gordonovich Selfridge (1955) предложил идею разработки модуля распознавания звука и изображения. Frank Rosenblatt (1958) создал устройство перцептрон (perception — восприятие), моделирующее процесс восприятия изображения человеческим мозгом. Основатель интернета Lawrence Roberts (1960) предложил системы распознавания форм предметов при помощи компьютера. Lawrence Roberts (1970) и Hans Helmut Nagel (1979) разработали теории распознавания трехмерных образов и динамических сцен. Бурное развитие технологий машинного зрения началось с распространением Интернета в 1990-х годах, появления световых сенсоров и разработок в области архитектуры управления системами искусственного интеллекта. Известны свыше 100 компаний, производящих системы машинного зрения, в числе наиболее успешных - Adani, Cognex, ViperImaging, Applied Vision Corporation, Omron. В предложенной D. Marron в 1990 г. парадигме алгоритмической последовательности действий обработки изображений сформулированы атрибуты символического представления визуальной информации. Разработка программного обеспечения для современных комплексов машинного зрения стала возможной благодаря развитию теории

сверточных сетей - Hochreiter (1991), Weng (1992); практической апробации алгоритмов распознавания лиц и действий людей - Viola P. & Jones M.J. (2001), Yang (2009); Ciresan, Sermanet (2011), W. Dai, C.Dai, S.Qu, J. Li, S. (2017), Steger C., Ulrich M., Wiedemann C.

В настоящее время во многих отраслях экономики РФ накоплен большой опыт по автоматизации производственных процессов и контролю качества продукции машинным зрением. В пищевой отрасли известен вклад Апанасенко С.И., Битюкова В.К., Благовещенской М.М., Благовещенского И.Г., Зубова Д.В., Музыки М.Ю., Краснова А.Е., Прозоровой Г.В., Тусфус М.В. В научной области внедрения систем машинного зрения для распознавания объектов и логистики автомобильной и железнодорожной инфраструктуры известны работы Волотовского С.Г., Долганова А.В., Казанского Н.Л., Попова С.Б., Хмелёва Р.В., Шаповалова В.В., Шохнина А.С. и др. Контролю машинным зрением качества продукции на предприятиях точного машиностроения и микроэлектроники посвящены работы Байрак С.А., Бажина В.Ю., Бойкова А.В., Булатова В.В., Гордеева Д.В., Дудкина А.А., Изосимовой Т.А., Инютина А.В., Калабухова Е.В., Кокотт Д., Комарова Т.Ю., Кульчицкого А.А., Максимовой М.В., Михайловой О.В., Садыхова Р.Х., Поденок Л.П., Фомичева В.В..

Вопросы распознавания изображений швейной продукции из текстиля, кожи и меха, дефектов полотна и технологии изготовления освещены в научных исследованиях Андреевой Е.Г., Гетманцевой В.В., Гусевой М.А., Демской А.А., Дремлюги О.А., Ершова В.Н., Железнякова А.С., Завязтого В.И., Замышляевой В.В., Ивановского В.А., Калинина Е.Н., Кирсановой Е.А., Козлова А.В., Костылевой В.В., Копылова А.А., Курбатова Е.В., Лапшина В.В., Муртазиной А.Р., Павлова М.А., Петросовой И.А., Подрядчикова В.А., Разина И.Б., Романовского Р.С., Садовского В.В., Смирнова Е.Е., Смирновой Н.А., Соколовского А.Р., Старковой Г.П., Ревякиной О.В., Харахнина К.А., Шеромовой И.А., Ясинского И.Ф. и др.

Вопросы применения нейросетевой технологии для решения корреляционных задач в сфере конструирования, технологии и распознавания образов швейных изделий освещены в исследованиях Андреевой Е.Г., Гусевой М.А., Костылевой В.В., Курышевой В.Н., Разина И.Б., Рогожина А.Ю., Романовского Р.С., Петросовой И.А.

Анализ накопленной базы знаний в технологиях идентификации машинным зрением отдельных показателей качества текстильных материалов, а также успешный опыт применения машинного зрения для отбраковки некондиции в смежных отраслях промышленности доказывает актуальность разработки новой технологии выявления технологических дефектов в промышленных партиях одежды с использованием цифрового инструментария и искусственного интеллекта.

**Целью работы** является разработка метода автоматизированного контроля качества изготовления швейных изделий с использованием системы машинного

зрения для идентификации дефектов внешнего вида, приводящих к изменению габаритов, связанных с нарушением технологии раскроя и пошива одежды.

В соответствии с поставленной целью в работе решены следующие **задачи**:

- проведен анализ процесса автоматизированного контроля качества продукции в различных отраслях промышленности;
- изучены принципы работы бесконтактных измерительных приборов и технических средств идентификации некондиционной продукции; проанализирована типовая конфигурация программно-аппаратных комплексов машинного зрения, систематизированы варианты комплектования по задачам распознавания;
- исследованы и систематизированы дефекты внешнего вида швейных изделий по причинам возникновения и проявления в процессе производства;
- разработаны количественные критерии оценки степени весомости идентифицированных машинным зрением дефектов швейной продукции, обосновывающие решение инспектора ОТК о возвратности партии готовой одежды на переделку;
- разработаны алгоритмы функционирования программного продукта для реализации процесса контроля качества изготовления швейной продукции машинным зрением;
- разработан метод определения машинным зрением дефектов внешнего вида, приводящим к изменению габаритов, связанных с нарушением технологии раскроя и пошива одежды;
- разработаны базы данных для информационного наполнения программной среды программно-аппаратного комплекса GarmentScanner и машинного обучения;
- разработано информационное обеспечение для программно-аппаратного комплекса машинного зрения GarmentScanner;
- проведена апробация работы прототипа программно-аппаратного комплекса машинного зрения GarmentScanner на базе аутсорсинговых швейных компаний «Guangzhou Qingfeng Textile Co., Ltd», «Guangzhou Evergreen Trading Co., Ltd», сотрудничающих с российскими предпринимателями; выявлены недостатки и определены пути совершенствования программного аппарата для реализации задач цифровизации этапа контроля качества готовой швейной продукции.

**Объект исследования** - швейные изделия и процесс их идентификации машинным зрением.

**Предмет исследования** – дефекты внешнего вида, возникающие в процессе производства швейных изделий и система требований к процессу их идентификации опико-электронными системами машинного зрения.

**Научную новизну** исследования составляют:

- разработанные критерии оценки степени выраженности дефектов внешнего вида в готовых швейных изделиях в реальной и цифровой среде;
- новые структуры баз данных дефектов швейной продукции для использования в качестве цифрового инструмента оценки факта наличия или отсутствия дефекта;
- новый метод контроля качества готовой швейной продукции на основе применения машинного зрения и искусственного интеллекта, что обеспечивает рост производительности труда и удовлетворенность потребителей высоким качеством швейной продукции.

**Практическая значимость работы** подтверждается разработкой:

- баз данных дефектов швейной продукции, определяемых машинным зрением;
- шкал визуальной и метрической информации о степени критичности дефектов внешнего вида в швейной продукции для автоматизации процесса контроля качества продукции;
- инструментария оптико-электронной системы машинного зрения для обнаружения дефектов внешнего вида в промышленных партиях готовой одежды;
- прототипа программного продукта GarmentScanner по обнаружению системой машинного зрения дефектов швейных изделий, связанных с нарушением технологии раскроя и пошива одежды, приводящим к изменению габаритов;
- этапов процесса взаимодействия оператора и программно-аппаратного комплекса машинного зрения при инспектировании качества изготовления швейной продукции.

**Личный вклад соискателя** состоит в общей постановке задачи, выборе методов и направлений исследования, выполнении научных экспериментов, обработке и интерпретации экспериментальных данных, личном участии в подборе комплектующих и компоновке экспериментального стенда программно-аппаратного комплекса машинного зрения. При непосредственном участии соискателя, согласно плану эксперимента, выполнены все исследования на аутсорсинговых швейных предприятиях, проведены испытания пригодности разработанного программно-аппаратного комплекса машинного измерения для контроля качества изготовления швейной продукции, подготовлены публикации в зарубежной и отечественной научной печати.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- метод инспектирования качества изготовления швейной продукции, основанный на выявлении дефектов внешнего вида швейных изделий с помощью систем машинного зрения;
- информационный массив идентифицируемых оптико-электронными системами машинного зрения технологических дефектов;

- критерии оценки степени выраженности дефектов внешнего вида в готовых швейных изделиях в реальной и цифровой среде;
- алгоритм функционирования программно-аппаратного комплекса GarmentScanner для идентификации машинным зрением дефектов изготовления швейных изделий.

**Теоретическая значимость работы** заключается в разработке метода инспектирования качества швейной продукции, основанного на применении интеллектуальных систем оптического машинного зрения. Бесконтактная параметризация швейной продукции, с применением обучаемых нейронных сетей, позволяет исключить влияние человеческого фактора на процесс контроля качества, с высокой точностью выявить дефекты внешнего вида, сформированные при изготовлении изделий.

**Соответствие паспорту специальности 2.6.16:** Положения, выносимые на защиту, соответствуют п. 15 «Разработка процессов выбора, примерки, оценки качества ИТЛП и оценки свойств материалов в реальной и цифровой среде», п.17 «Разработка методов автоматизации и оптимизации производств материалов и ИТЛП на основе научного прогнозирования, применения математических методов, нейронных сетей, искусственного интеллекта».

**Апробация и реализация результатов.** Теоретические положения, практические рекомендации и выводы диссертационной работы опубликованы в 14 печатных работах, 4 из которых – в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ, 1 – в журнале из списка ВАК Республики Беларусь, 2 - в периодических журналах входящих в Web of Science и Scopus, 7 – в периодических научных журналах, индексируемых в РИНЦ. Интеллектуальная собственность разработки защищена свидетельствами о государственной регистрации 3 баз данных, 1 программы для ЭВМ.

Результаты диссертационной работы обсуждены и получили положительные отзывы в 2019-2023 гг. на следующих конференциях: SHS Web Conf. International Scientific and Practical Conference on Social Sciences and Humanities: Scientific Challenges of the Development of Modern Society (SHCMS, Грозный, 30.03.2023), Proceeding of the International Science and Technology Conference "FarEastCon 2021" (7.10.2021, ДВФУ, Владивосток), Всероссийской научной конференции молодых ученых «Инновации молодежной науки» (18-22.04.2022, СПбГУПТИД, Санкт-Петербург, III Международного Косыгинского Форума «Современные задачи инженерных наук» (20-21.10.2021 г., РГУ им. А.Н. Косыгина, Москва) и др.

**Структура и объем работы.** По своей структуре научно-квалификационная работа (диссертация) состоит из введения, четырех глав, выводов по каждой главе, общих выводов по работе, списка литературы, приложений. Работа изложена на 186 страницах машинописного текста, содержит 66 рисунков, 30 таблиц. Список



литературы включает 251 библиографических и электронных источников. Приложения представлены на 30 страницах.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, обозначены цели и задачи, отражена научная новизна и практическая значимость работы.

**Первая глава** посвящена анализу опыта автоматизированного контроля качества продукции машинным зрением (МЗ) в различных отраслях экономики. Проанализированы: ассортимент технических средств МЗ, типовые алгоритмы распознавания образов, основанные на каскадах Хаара, особенности параметризации изображений. Для эксперимента выбрана комплектация программно-аппаратного комплекса (ПАК) машинного зрения, включающая оптическую систему и источники освещения.

Выявлено, что для перевода процесса контроля качества изготовления швейной продукции в цифровой формат необходимо разработать: 1) базы данных дефектов, 2) шкалы отличительных признаков технологических дефектов, 3) алгоритмы идентификации дефектов швейных изделий по изображениям, 4) процедуру сканирования швейных изделий и условия съемки объектов, 5) техническое задание на разработку прототипа программного обеспечения; 6) обосновать комплектность и собрать экспериментальный образец программно-аппаратного комплекса, 7) провести апробацию, выявить недостатки, обосновать перспективы дальнейшего развития.

**Во второй главе** проведено исследование организации процесса контроля качества швейной продукции на примере аутсорсинговых предприятий Китая для установления причин, влияющих на снижение результативности труда сотрудников отдела ОТК. Проведена экспертная оценка значимых дефектов одежды, установлены показатели, влияющие на снижение качества – это несоответствие геометрических размеров изделий эталону; наличие дефектов на материале; изменения формы контуров, несимметричность в изделиях, его частях, отделке.

Для систематизации визуальной информации о дефектах проведено фотографирование веб-камерой швейных изделий с дефектами. В каждой группе дефектов разработаны цифровые шкалы критичности. Для максимальной степени критичности определен наивысший балл. Размах шкалы (от 1 до 10) соответствует рангам, установленным экспертным опросом.

Разработана и зарегистрирована в ФИПС база данных «Базовые цифровые шкалы технологических дефектов швейных изделий, определяемых техническими средствами идентификации», включающая визуальную и описательную информацию о технологических дефектах, шкалы критичности (табл. 1).

**Таблица 1 – Фрагменты базы данных технологических дефектов**

Описание дефекта	Визуализация	Балл	Описание дефекта	Визуализация	Балл
Шкала оценки дефектов материала			Шкала оценки симметричности изделия		
пятна плесени на лицевой поверхности		9	несимметричность горловины		10
Шкала оценки качества строчек			Шкала дефектов принтирования		
лопнувшая строчка		10	низкое качество принта		10

Анализ качества швейной продукции показал, что некоторые дефекты конструкции и ПКД, а именно: ошибки при оформлении уголков лекал (например, приводящие к растяжению швов при обтачивании клапана) и отсутствие сопряжений линий в лекалах деталей кроя, имеют высокий потенциал распознавания машинным зрением. Разработана и зарегистрирована в ФИПС база данных «Цифровые шкалы конструктивных дефектов швейных изделий, определяемых техническими средствами идентификации», включающая визуальную и описательную информацию о дефектах и цифровые шкалы критичности (от 1 до 10).

Для реализации цифрового контроля, разработана методика измерений швейных изделий по изображениям на примере изделий плоских форм (футболка, майка, трусы). В программу включены измерения линейных, проекционных и угловых параметров, проверяемые сотрудниками ОТК, согласно Табелю мер из Технического описания на модель. Разработана и зарегистрирована в ФИПС база данных «Цифровые шкалы измерений швейных изделий для автоматизированного контроля качества» (табл. 2). В разработанной базе данных по каждому изображению представлена визуальная информация, описание дефекта, графическая информация (траектория измерения), допустимое отклонение (согласно ГОСТ), баллы критичности (согласно разработанной шкале).

**Таблица 2 – Фрагменты базы данных**

Описание измерения	Визуализация	Допустимое отклонение, см	Балл
Шкала оценки измерений швейных изделий по ширине			
Ширина изделия под проймой		1,0	10
Шкала оценки измерений швейных изделий по проекционным параметрам			
Глубина горловины переда		0,7	8

Для реализации разрабатываемого метода контроля качества швейных изделий машинным зрением предложена организация Единой Цифровой Информационной Базы Дефектов Швейной Продукции (ЕЦИБ ДШП), с открытой

наполняемостью. Разработанные Базы Данных являются информационной основой ЕЦИБ ДШП.

В третьей главе разработан метод контроля качества швейной продукции машинным зрением. Для реализации метода разработан программно-аппаратный комплекс машинного зрения GarmentScanner, изготовлен прототип, включающий рабочее пространство для сканирования швейных изделий, веб-камеру, источники искусственного освещения, компьютер, программное обеспечение; дополнительно установлена необходимость использования съемных направляющих, позиционирующих обзор камеры, не допускающих просмотр фона за их пределами. Экспериментально установлено, что для адекватного распознавания машинным зрением изображения швейного изделия недостаточно простого контрастирования в колористике фона и изделия. По результатам эксперимента определено цветовое решение столешницы (ярко розовый, «кислотный»), исключающее повтор цвета в ассортименте швейной продукции (цветовой тон выбран ранжированием экспертами, коэффициент конкордации 0,81), что способствует максимальному устранению фоновых помех на иконике объекта, возникающих при сканировании оптико-электронными устройствами. Установлены параметры калибровки камеры.

Разработано информационное наполнение программного обеспечения для модуля GarmentScanner, выполняющего измерения изделий (на примере футболки). Алгоритм распознавания объектов основан на поиске перемещающимся по иконике изделия окном признаков Хаара (границ яркости), и вычислении в каждой точке цифрового изображения значений заданных признаков, в перечень которых включены отклонения по размерам, положению, форме. Разработано кодирование информативных точек на контуре иконики. Разработаны методика расчета векторов, методика расчета координат информативных точек (табл. 3).

**Таблица 3 – Фрагмент информационного наполнения GarmentScanner**

Вектор	Название	Методика расчёта	Разметка параметров на контуре изделия
А	ширина горловины переда	отрезок между точками А1 и А2	
В	длина горловины переда	расстояние по контуру горловины переда между точками А1 и А2	
С	глубина горловины переда	отрезок между точками С1 и С2	
Е	длина плечевого шва	расстояние по контуру между точками А2 и L2	

На основании экспериментальных данных проведена оптимизация кодировки контура изделия, уточнено количество информативных точек и векторов. Расчет прямых расстояний (в пикселах) выполняют по формуле:

$$\text{Distance} = \sqrt{(\text{BeginPoint.X} - \text{EndPoint.X})^2 + (\text{BeginPoint.Y} - \text{EndPoint.Y})^2} \quad (1)$$

где, Distance – величина измеряемого участка изображения;

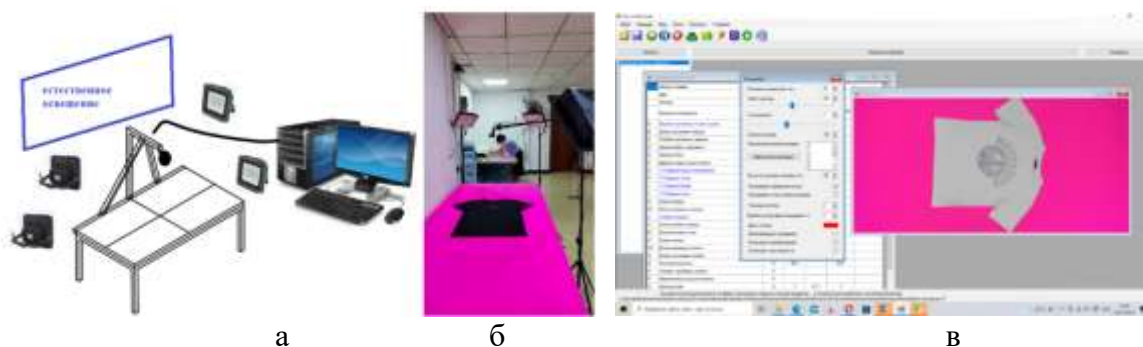
BeginPoint.X – координата проекции начальной точки измеряемого участка на ось X;  
 EndPoint.X – координата проекции конечной точки измеряемого участка на ось X,  
 BeginPoint.Y – координата проекции начальной точки измеряемого участка на ось Y,  
 EndPoint.Y – координата проекции конечной точки измеряемого участка на ось Y,  
 EndPoint.Y - координата проекции конечной точки измеряемого участка на ось Y,  
 координата проекции начальной точки измеряемого участка на ось Y.

Разработан алгоритм пересчета параметров из пиксельной формы в метрическую систему СИ, по формуле:

$$L = \text{Distance} / a \quad (2)$$

где коэффициент  $a = 3,3$  учитывает плотность пикселей, заложенную в характеристиках применяемого оборудования.

Разработаны архитектура рабочего пространства и программного обеспечения GarmentScanner с социально ориентированным интерфейсом для использования специалистами швейного производства (рис. 1), блок-схема алгоритма работы ПАК. Основное окно программы содержит кнопки выбора режима: «Каталог», «Таблица измерений», «Проверка». В сценарии программы заложена система цифрового кодирования каждого исследуемого изделия в соответствии с иерархической схемой классификации технологических дефектов и дефектов конструкторской документации, которые могут быть обнаружены и идентифицированы бесконтактно. Открытость базы программного продукта позволяет наполнять систему новой информацией, тестировать комплекс в целом, и отдельные модули. Программа GarmentScanner зарегистрирована в ФИПС.



**Рисунок 1 – Архитектура рабочего пространства и программного обеспечения GarmentScanner**

На примере изделия *футболка* для реализации алгоритма функционирования ПАК GarmentScanner разработано кодирование контура (табл. 4).

**Таблица 4 – Фрагмент архитектуры кодировки контуров**

Контур	Назначение
contur	определяет главный внешний контур изделия, служит основой для расчета базовых точек
vorot 1	определяет внутренний контур горловины переда
vorot 2	определяет внешний контур горловины переда
vorot 3	определяет внутренний контур горловины спинки
proima 1	определяет контур проймы переда
proima 2	определяет контур проймы спинки

В настоящее время, в соответствии с разработанным алгоритмом, компьютерная программа GarmentScanner после распознавания на изображении швейного изделия: 1) формирует на иконике объекта контур для параметризации; 2) вычисляет многомерный массив параметров, характеризующий габариты изделия; 3) сопоставляет полученные данные с эталоном из Табеля мер; 4) выполняет сравнение расчетных величин отклонений с допустимыми, размещенными в базе данных системы, 5) формирует сигнал о найденном дефекте.

**В четвертой главе** разработаны требования к нейросети для GarmentScanner, идентифицирующей дефекты швейной продукции машинным зрением. В качестве прототипа выбрана сеть CNN прямого распространения – многослойный персептрон. На основании тестирования функционала GarmentScanner в производственных условиях определены факторы, снижающие эффективность работы ПАК, в числе которых «зашумленность» визуальных образов присутствием нескольких дефектов в одном изделии, цветовое совпадение или соседство цветовых характеристик в паре фон/изделие, неотрегулированное освещение. Для повышения адекватности выходной информации разработаны обучающие выборки положительных и отрицательных изображений дефектов, регламентирующих закономерности их идентификации. Обучающие выборки загружены в базу данных GarmentScanner.

Проведена апробация функционирования прототипа программно-аппаратного комплекса GarmentScanner в промышленных условиях на базе аутсорсинговых предприятий. На основании сравнения хронометража работ контролера ОТК и аналогичных действий программы подтверждены преимущества машинного зрения в скорости обработки визуальной и метрической информации о швейных изделиях, определено, что применение машинного зрения в пять раз ускоряет этап оценки качества готовой продукции. Посредством GarmentScanner можно проводить 100% инспекции без выезда инспекторов на фабрики и контролировать результативность работы ПАК через автоматически сформированный отчет, избегая влияния человеческого фактора на принятие итоговых решений.

По результатам апробации прототипа ПАК GarmentScanner сформулированы рекомендации, повышающие результативность работы, в их числе: 1) смещение траектории измерения «ширина изделия по линии груди» на 3-5 см ниже вершины бокового шва позволит минимизировать проявление помех распознавания, вызванных нарушением гладкости поверхности в одежде с рукавами; 2) изделия, изготовленные из материалов с разными свойствами, необходимо проверять машинным зрением со стороны более плотного материала, что позволит избежать формирование на поверхности незапланированных заломов и складок, возникающих со стороны более легкого материала, идентифицируемых программой как «шумы» на изображениях.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Предложен метод контроля качества швейных изделий, основанный на применении машинного зрения. Определено, что использование виртуального инструментария, распознающего по изображениям дефекты внешнего вида швейных изделий, позволит объективно осуществлять инспектирование производства, отслеживать сформированные и потенциальные дефекты непосредственно на фабриках и дистанционно, что способствует развитию новых моделей сотрудничества в отрасли, в том числе на межгосударственном уровне.

2. Проанализирована общемировая практика применения систем машинного зрения для выявления бракованной продукции в различных отраслях экономики. Разработан метод контроля машинным зрением качества швейной продукции, основанный на использовании программного продукта, идентифицирующего визуальную и метрическую информацию об объектах на основе математических вычислений и сопоставления изображений объектов с шаблонами.

3. Определена конфигурация программно-аппаратного комплекса машинного зрения, включающая; 1) рабочее пространство – столешницу для расположения швейных изделий; 2) сканирующее устройство – веб камеру, 3) систему дополнительного освещения - бестеневые светодиодные лампы, размещенные с разных сторон от объекта; 4) один или несколько компьютеров со специальным программным обеспечением, решающим задачи распознавания объекта на изображении, удаление помех для точного определения границ объекта, вычисление операторов математической морфологии (размерность объектов, наличие дефектов) и сравнение параметров с эталоном для заключительного отчета о необходимости отбраковки изделия, 5) два сервера для хранения и сопровождения процесса идентификации.

4. Определена предпочтительная IT-платформа для реализации способа контроля качества швейной продукции машинным зрением, апробированная на общемировом уровне в распознавании объектов разнообразными системами компьютерного зрения, функционирующими с применением нейросетевых технологий. В качестве алгоритма распознавания визуалов выбран математический аппарат на основе каскадов Хаара - перемещающегося по изображению окна, выявляющего набор признаков для идентификации объекта, и обучающего каскадного классификатора.

5. Проанализирован потенциал идентификации виртуальным инструментарием системы машинного зрения швейных изделий с дефектами внешнего вида, сформированными при изготовлении изделий. Определено, что машинным зрением распознаваемы дефекты поверхности материала, дефекты строчек и швов, несимметричность формы и принтов в одежде, несоответствие габаритов изделий эталону; наличие перекосов, неровностей краев. Виртуальный

измерительный инструмент применим для вычисления геометрических характеристик одежды плоских форм.

6. Предложена организация пополняемой Единой Цифровой Информационной Базы Дефектов Швейной Продукции, включающей базы различных дефектов, для обучения нейросети программно-аппаратных комплексов машинного зрения, идентифицирующих дефекты швейных изделий. Для информационного наполнения Базы Данных разрабатываемой системы машинного зрения проанализированы и систематизированы визуальные и метрические характеристики швейных изделий с технологическими дефектами и дефектами от несовершенства проектно-конструкторской документации; разработаны базы данных, получены свидетельства интеллектуальной собственности. Разработана и зарегистрирована в ФИПС база данных измерений швейных изделий для контроля качества машинным зрением.

7. Разработан прототип программно-аппаратного комплекса GarmentScanner для реализации метода контроля машинным зрением технологических дефектов в промышленных партиях одежды. Экспериментально подобран цвет столешницы, максимально минимизирующий проявление помех на изображениях. Разработаны архитектура программного продукта, интерфейс, алгоритм взаимодействия системы машинного зрения и технолога-оператора. Зарегистрирован в ФИПС прототип программы для ЭВМ, реализующий функционал GarmentScanner.

8. Разработаны методики расчета векторов в информативных точках и их координат для параметризации GarmentScanner визуального аналога одежды. Для реализации функционала идентификации швейных изделий с дефектами с помощью алгоритма Viola-Jones, апробированного в известных системах машинного зрения, разработана методика расчета координат базовых точек перемещающегося по изображению прямоугольного распознающего окна, вписываемого в контур изделия. Разработано кодирование буквенно-цифровым маркером изображения швейного изделия; в массив входных/выходных данных входят цвет, координаты точек, вектора для расчета габаритов объекта. Разработана логическая модель процесса контроля качества изготовления швейной продукции машинным зрением. Предложен цифровой контроль с применением GarmentScanner на этапе промежуточного контроля полуфабрикатов и для инспекции партий готовой одежды.

9. Проведена промышленная апробация работы прототипа программно-аппаратного комплекса машинного зрения GarmentScanner на швейных аутсорсинговых предприятиях Китая. Установлена эффективность применения системы машинного зрения на этапе контроля качества готовой продукции. Сравнительный анализ оперативного времени, затрачиваемого на контроль качества изготовления швейной продукции показал, что длительность процедуры

измерительного контроля единичного изделия, на примере футболки, в 5 раз короче, чем инспектирование изделий контактным способом.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

### *Статьи в изданиях, входящих в «Перечень...» ВАК при Минобрнауки России:*

1. Гусева М.А., Рогожина Ю.В. Опыт и перспективы цифровой трансформации швейной отрасли // Костюмология. – 2023. – Том 8. – №3.
2. Гусева М.А., Андреева Е.Г., Рогожина Ю.В. Программно-аппаратный комплекс GarmentScanner для цифрового контроля качества швейной продукции // Дизайн и технологии. – 2022. – № 89 (131). – С. 36-46.
3. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г., Рогожина Ю.В., Смирнов В.Б. Цифровизация дефектов одежды для оптимизации аутсорсингового изготовления «Fast Fashion» коллекций // Дизайн и технологии. – 2020. – №75 (117). – С.36-44.
4. Гетманцева В.В., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Горковенко Л., Копылова М.Д., Рогожина Ю.В. Этапы проектирования персонифицированного сценического костюма // Костюмология. – 2020 – Том 5. – №1.

### *Статьи в изданиях, входящих в «Перечень...» SCOPUS и Web of Science:*

5. Белгородский В.С, Гусева М.А., Андреева Е.Г., Рогожина Ю.В. Искусственный интеллект в оценке качества готовой швейной продукции // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2022. – №2 (398). – С.168-177.
6. Rogozhina, Ju., Guseva, M., Andreeva, E. Garment Production Quality Evaluation Using Machine Vision. // Proceeding of the International Science and Technology Conference "FarEastCon 2021". Vol/"Smart Innovation, Systems and Technologies", 2022. – P. 309-318.

### *Статьи в прочих изданиях:*

7. Гусева М.А., Рогожина Ю.В. Исследование цветового сочетания «фон - изделие» в конфигурации программно-аппаратного комплекса машинного зрения GarmentScanner // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета. – 2023. – Т. 15. – № 4 (68). – С. 164-174.
8. Rogozhina Ju.V., Guseva M. A., Andreeva E. G. Machine vision digital technology for non-contact quality control of garment manufacturing // Витебск, Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2022. – №2 (43). – С. 10-18.
9. Рогожина Ю.В., Гусева М.А., Андреева Е.Г. Распознавание образов одежды машинным зрением // Вестник Молодых ученых, СПбГУТиД. – 2022. – №1. – С. 87-93.
10. Гусева М.А., Андреева Е.Г., Рогожина Ю.В., Чистякова А.И. Автоматизированный отбор моделей швейных изделий к запуску в массовое производство // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. – 2021. – Т. 13, № 1. – С. 152–162.
11. Гусева М.А., Белгородский В.С., Андреева Е.Г., Рогожина Ю.В. Автоматизация контроля качества одежды путем цифровизации конструктивных и технологических дефектов // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы. – Иваново: ИВГПУ. – 2020. – С. 373-377.
12. Рогожина Ю.В., Гусева М.А., Андреева Е.Г. О перспективах применения машинного зрения для оценки симметричности швейных изделий // Вестник Молодых ученых, СПбГУТиД. – 2021. – №1. – С.47-52.
13. Рогожина Ю.В., Гусева М.А., Андреева Е.Г. Качество ниточных соединений швейного изделия в цифровой системе контроля // Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2021. – № 1. – С. 847-849.



14. *Рогожина Ю.В.*, Гусева М.А., Андреева Е.Г., Гетманцева В.В. Систематизация технологических дефектов для прогнозирования и контроля качества швейной продукции аутсорсинговых предприятий // Вестник Молодых ученых, СПбГУТиД. – 2020. – №1. – С. 104-109.
  15. *Рогожина Ю.В.* Измерительный инструмент «Machine Vision» бесконтактного контроля качества изготовления одежды // Сборник материалов III Международной научно-практической межвузовской конференции. – М., 2023. – С. 166-169.
  16. *Рогожина Ю.В.*, Гусева М.А., Андреева Е.Г. Технология Machine Vision для контроля качества изготовления одежды // В сборнике: Церевитиновские чтения - 2022. материалы VIII Международной научно-практической конференции. – М., 2022. – С. 3-5.
  17. *Рогожина Ю.В.*, Гусева М.А., Андреева Е.Г., Белгородский В.С. Машинное зрение как эффективный инструмент контроля качества швейной продукции // Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Современные инженерные проблемы в производстве товаров народного потребления» – М.: «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2021. – С. 216-219.
  18. *Rogozhina Iu.*, Guseva, M., Andreeva, E. Application of Measuring Instruments with Elements of Artificial Intelligence to Optimize Cross-Cultural Communications of Personnel of Outsourcing Sewing Enterprises // SHS Web Conf. International Scientific and Practical Conference on Social Sciences and Humanities: Scientific Challenges of the Development of Modern Society (SHCMS 2023). – Grozny, 2023. - Vol.172.
  19. *Rogozhina, Iu.*, Guseva, M., Andreeva, E. Assessment of the quality of garment manufacture through non- contact method of machine vision // В Сборнике International SIIRT Conference on Scientific Research, Siirt University, November 5-7. – Türkiye, 2021. – Ч. 2. – С. 462-466.
  20. *Rogozhina Iu.V.*, Guseva M.A., Andreeva E.G., Getmantseva V.V. Systematization of technological defects for quality control of products of outsourcing sewing companies // V International scientific and practical conference "Education and science in the 21st century" October 2020. – Vitebsk, 2020. – С. 20-24.
- Свидетельства на программу для ЭВМ, базы данных:**
21. *Рогожина Ю.В.*, Гусева М.А., Андреева Е.Г., Белгородский В.С., Глебова Т.Г. Базовые цифровые шкалы технологических дефектов швейных изделий, определяемых техническими средствами идентификации/ Св-во о рег. базы данных № 2020621712 от 18.09.2020. Бюл. № 9.
  22. Гусева М.А., *Рогожина Ю.В.*, Андреева Е.Г., Белгородский В.С., Глебова Т.Г. Цифровые шкалы конструктивных дефектов швейных изделий, определяемых техническими средствами идентификации/ Св-во о рег. базы данных № 2020622293 от 16.11.2020. Бюл. №11.
  23. Гусева М.А., *Рогожина Ю.В.*, Андреева Е.Г., Белгородский В.С., Глебова Т.Г. Цифровые шкалы измерений швейных изделий для автоматизированного контроля качества/ Св-во о рег.базы данных № 2020622292 от 16.11.2020. Бюл. № 11.
  24. *Рогожина Ю.В.*, Гусева М.А., Андреева Е. Г., Белгородский В.С., Данильченко А. О., Слободян М. В. Программа для ЭВМ GarmentScanner/ Св-во о рег. №2021617946 RUS; от 20.05.2021. Бюл.№5.

РОГОЖИНА ЮЛИЯ ВЛАДИМИРОВНА

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ШВЕЙНЫХ  
ИЗДЕЛИЙ МАШИНЫМ ЗРЕНИЕМ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Усл.-печ. 1,0 п.л. Тираж 80 экз. Заказ №**  
**Редакционно-издательский отдел**  
**ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»**  
**119071, г. Москва, ул. Малая Калужская, д. 2, стр. 1**  
**Отпечатано в РИО ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»**