УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Ярославский
государственный университет
им. П.Г. Демидова»,
к.б.н., доцент
_____ Е.А. Флёрова
«12» сентября 2026 г.
М.П.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова» на диссертацию Бурыгина Антона Олеговича «Модели и алгоритмы нейросетевого обнаружения дефектов промышленных материалов на их изображениях», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа посвящена разработке моделей и алгоритмов обнаружения и локализации дефектов промышленных материалов по изображениям при ограниченном количестве размеченных аномальных образцов. Решение данной задачи имеет существенное значение для автоматизации промышленного контроля качества, поскольку в реальных производственных условиях объем изображений бездефектной продукции многократно превышает объем данных о браке, а получение репрезентативной разметки дефектов требует значительных временных и экспертных ресурсов.

Актуальность исследования определяется необходимостью одновременного повышения точности выявления аномалий, устойчивости моделей к дисбалансу классов и эффективности обучения на малых выборках. Применение нейросетевых методов в таких условиях осложняется переобучением, недостаточной представленностью редких морфологических типов дефектов и ограниченной переносимостью обученных моделей на новые

партии материалов. В связи с этим разработка методов, объединяющих обучение на немаркированных данных, генерацию синтетических дефектов и совместное использование специализированных моделей обнаружения и локализации, является актуальной и практически востребованной.

Поставленная цель работы – повышение точности нейросетевого обнаружения дефектов на изображениях промышленных материалов – сформулирована корректно. Для ее достижения решены взаимосвязанные задачи анализа существующих методов, разработки модели увеличения датасета при дефиците дефектных изображений и создания моделей идентификации дефектных областей на изображениях высокого разрешения. Объект, предмет, цель и задачи исследования согласованы между собой.

Структура и содержание работы

Диссертация представляет собой завершенную научно-квалификационную работу. Ее структура соответствует логике исследования и включает введение, четыре главы, заключение, список литературы и приложение. Материал последовательно развивается от анализа предметной области и базовых методов к разработке авторских моделей, алгоритмов и их экспериментальной проверке.

Во введении обоснована актуальность темы, охарактеризована степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи, определены объект и предмет исследования, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробации и личном вкладе соискателя.

В первой главе выполнен обзор методов обнаружения поверхностных дефектов: традиционных методов анализа текстуры и сегментации, сверточных сетей, автоэнкодеров, генеративно-состязательных моделей, методов обучения при недостатке разметки и специализированных алгоритмов поиска аномалий. Обзор позволяет обосновать выбранное направление исследования – построение интегрированной системы, способной работать с немаркированными данными, расширять малую выборку дефектов и разделять функции обнаружения и локализации.

Во второй главе предложены алгоритмы начальной сегментации с использованием графов смежности областей RAG/WRAG, сегментации дефектов на основе сверточной нейронной сети U-Net и классификатора Random Forest, регуляризации посредством вставки дефектов, а также

модифицированный автоэнкодер MemAE SMA с внешней разреженной памятью и доверительными областями. Экспериментальная часть показывает улучшение метрик сегментации и детекции по сравнению с рассмотренными базовыми конфигурациями.

Третья глава посвящена модели ResStyleGAN. Предложена двухэтапная схема: первоначальное обучение StyleGAN3 на бездефектных изображениях и последующее подключение остаточных ResNet-блоков, дообучаемых на ограниченной выборке дефектов. Результатом являются согласованные тройки «бездефектное изображение – изображение с дефектом – маска дефекта», пригодные для расширения обучающего набора и снижения затрат на ручную аннотацию.

В четвертой главе разработана дуальная система PatchNet++, сочетающая модель типа «учитель–ученик» на основе U-Net++ и модель PatchCore. Первая компонента предназначена преимущественно для локализации дефектной области, вторая – для оценки аномальности на основе сравнения с банком нормальных признаков. Нормализованные карты объединяются с весовым коэффициентом, что обеспечивает согласование результатов двух взаимодополняющих механизмов.

В заключении систематизированы основные результаты, приведены достигнутые количественные показатели, обозначены ограничения и направления дальнейшего исследования, включая обработку ультразвуковых, рентгенографических и трехмерных изображений, мультимодальный анализ и кросс-доменную адаптацию.

Научная новизна

Научная новизна диссертационного исследования определяется совокупностью разработанных моделей и алгоритмов, ориентированных на обнаружение дефектов при существенном дефиците размеченных аномальных данных. К наиболее значимым результатам следует отнести:

1. Модификацию автоэнкодера с внешней памятью MemAE SMA, в которой используются разреженная адресация памяти, обновление доверенной области и сопоставление признаков исходного и реконструированного изображений; это позволяет формировать карту аномалий при обучении преимущественно на немаркированных данных.

2. Модель ResStyleGAN и алгоритм двухэтапной генерации дефектов, отличающиеся сочетанием базового генератора StyleGAN3, обученного

воспроизводить нормальную текстуру, и остаточных ResNet-блоков, моделирующих локальные дефектные изменения.

3. Дуальную систему PatchNet++, разделяющую функции локализации и обнаружения аномалий между компонентами на основе U-Net++ и PatchCore и объединяющую их выходы после нормализации.

4. Комплексный подход к балансировке и обработке промышленных изображений, включающий графовую предварительную сегментацию, управляемое расширение выборки и последующую нейросетевую детекцию.

Указанные результаты обладают признаками новизны, внутренне связаны с целью исследования и представлены в форме моделей, алгоритмов и программной реализации. Положения, выносимые на защиту, соответствуют основному содержанию диссертации и подтверждены экспериментальными результатами.

Обоснованность и достоверность

Обоснованность научных положений обеспечивается применением методов машинного обучения, распознавания образов, глубоких сверточных сетей, генеративно-состязательного обучения, дистилляции знаний, трансферного и полуконтролируемого обучения. Используются общепринятые метрики оценки сегментации и детекции, включая IoU, Dice Coefficient, Accuracy, F-меру и площадь под ROC-кривой, и сопоставляет предложенные решения с базовыми моделями.

Достоверность результатов подтверждается вычислительными экспериментами на собранном и вручную размеченном наборе из 546 изображений текстильных строп с последующим расширением до 24 000 фрагментов. Для модифицированной сегментационной модели получены значения IoU 0,6009 и Dice 0,6911; для задачи детекции – Accuracy 92,45 % и AUC 94.54 %. Для MemAE SMA заявлено повышение точности на 7,82 % и площади под ROC-кривой на 7,31 % относительно сравниваемых автоэнкодеров. После расширения выборки посредством ResStyleGAN показано среднее увеличение пороговой и попиксельной точности моделей соответственно на 10 % и 14 %, а совместная работа компонентов дуальной системы обеспечила прирост пороговой точности в среднем на 5,3 %.

Полученные зависимости в целом согласуются с логикой предложенных решений: увеличение разнообразия дефектных образцов улучшает обобщающую способность детекторов, разреженная память препятствует

реконструкции аномальных фрагментов как нормы, а разделение обнаружения и локализации позволяет использовать признаки разных масштабов. Практическая работоспособность разработок дополнительно подтверждается регистрацией программы для ЭВМ и внедрением результатов на промышленном предприятии.

Теоретическая значимость

Теоретическая значимость исследования состоит в развитии методов анализа изображений при дисбалансе классов и дефиците размеченных аномалий. Предложенная схема объединяет три взаимодополняющих направления: моделирование нормального состояния по немаркированным данным, контролируемый синтез дефектов и совместное принятие решения локализатором и детектором. Такое объединение формирует методическую основу для построения адаптивных систем визуального контроля, в которых отдельные компоненты могут изменяться в зависимости от требований к точности, вычислительным ресурсам и характеру входных данных.

Разработанные решения могут получить дальнейшее развитие при исследовании процедур автоматического выбора способа аугментации, параметров генерации и весов объединения карт аномалий, а также при переносе на табличные, многоканальные и мультимодальные данные.

Практическая значимость

Практическая значимость работы заключается в возможности использования предложенных моделей и алгоритмов в автоматизированных системах контроля текстильных, химических и иных промышленных материалов. Программная реализация подтверждена свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ. Результаты исследования использованы при создании системы контроля дефектов гранул тринатрийфосфата на АО «ВХЗ» в г. Костроме; согласно материалам диссертации, внедрение позволило снизить уровень брака с 5 % до 2 %.

Разработанные решения целесообразно использовать:

— при создании автоматизированных постов визуального контроля плоских и текстурированных материалов;

— для предварительного обучения систем технического зрения в условиях дефицита реальных дефектных образцов;

— при формировании сбалансированных обучающих выборок с автоматически создаваемыми масками дефектов;

— в исследовательских и учебных проектах по промышленному компьютерному зрению, обнаружению аномалий и генеративному моделированию;
— как основу для последующей адаптации к ультразвуковым, рентгенографическим, трехмерным и мультимодальным данным после дополнительной предметной валидации.

Личный вклад соискателя

Личный вклад А.О. Бурыгина состоит в постановке и формализации частных задач исследования, разработке моделей и алгоритмов, создании программной реализации, подготовке и обработке данных, проведении вычислительных экспериментов и интерпретации результатов. В совместных публикациях соискатель участвовал в постановке задач, планировании экспериментов, реализации алгоритмов и анализе полученных данных. Представленный объем самостоятельных результатов соответствует уровню кандидатской диссертации.

Соответствие специальности

Содержание диссертационной работы соответствует научной специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки), поскольку исследование направлено на разработку моделей и алгоритмов обработки информации, извлечения признаков, распознавания и принятия решений в автоматизированных системах контроля. Заявленное автором соответствие пунктам 2, 3, 4 и 10 паспорта специальности является обоснованным.

Публикации и апробация

Основные результаты диссертации опубликованы в 10 работах, в том числе в 4 статьях в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК, и подтверждены свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ. Результаты докладывались на пяти научных мероприятиях в Сургуте, Воронеже и Пензе. Публикации отражают ключевые этапы исследования: графовую сегментацию, применение полносвязных сверточных сетей, детекцию по ограниченному числу кадров, генерацию дефектов и построение дуальной системы.

Автореферат в целом соответствует содержанию диссертации, отражает цель, задачи, научную новизну, основные положения, результаты

экспериментов и выводы. Основные результаты исследования представлены в опубликованных работах с достаточной полнотой.

Замечания по работе

Наряду с отмеченными достоинствами диссертационная работа содержит ряд положений, требующих уточнения или дополнительного обоснования:

1. Основная экспериментальная проверка выполнена на изображениях текстильных строп, а промышленное внедрение описано для гранул тринатрийфосфата. Для более строгого подтверждения заявленной применимости к широкому классу промышленных материалов целесообразно было бы провести независимую валидацию на нескольких открытых и производственных наборах с различной текстурой, геометрией и типами дефектов.

2. В работе недостаточно подробно описан протокол разделения исходных 546 изображений на обучающую, валидационную и тестовую части до расширения этого набора до 24 000 фрагментов. Следовало явно показать, что фрагменты одного исходного изображения и синтетические производные не попадали одновременно в обучающую и тестовую выборки, а также привести доверительные интервалы и результаты нескольких запусков с различными случайными инициализациями.

3. Для моделей MemAE SMA, ResStyleGAN и PatchNet++ желательно представить более полный абляционный анализ. В частности, полезно отдельно оценить вклад разреженной адресации и доверительных областей, остаточных блоков ResNet, ArcFace, блоков U-Net++, PatchCore и способа объединения карт, а также чувствительность результатов к размеру памяти, порогам и коэффициенту объединения.

4. При описании результатов термины «точность», Accuracy, пороговая точность и попиксельная точность местами используются без достаточного разграничения; кроме того, относительный прирост и прирост в процентных пунктах следует обозначать единообразно. Это затрудняет прямое сопоставление отдельных таблиц и положений, выносимых на защиту.

5. Заявленная возможность развертывания на встраиваемых системах не подкреплена систематическим анализом вычислительной сложности. Следовало привести число параметров, объем оперативной и видеопамяти, латентность, пропускную способность и энергопотребление хотя бы для одной целевой аппаратной платформы.

6. Оценка качества синтетических дефектов преимущественно основана на метрике LPIPS и изменении качества последующей детекции. Дополнительная слепая экспертная оценка, анализ разнообразия морфологии и проверка на генерационные артефакты повысили бы убедительность выводов о реалистичности и статистическом разнообразии изображений ResStyleGAN.

7. В тексте встречаются редакционные и терминологические несогласованности, включая различия в сведениях о количестве источников в списке литературы, отдельные повторы, неоднозначное употребление обозначений PatchNet/PatchNet++ и недостаточно полное описание части гиперпараметров.

Перечисленные замечания носят преимущественно дискуссионный и методический характер, не затрагивают обоснованность основных научных результатов и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Заключение

Диссертация «Модели и алгоритмы нейросетевого обнаружения дефектов промышленных материалов на их изображениях» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на актуальную тему. В работе содержится решение научной задачи разработки моделей и алгоритмов нейросетевого обнаружения и локализации дефектов при ограниченном количестве размеченных аномальных данных, имеющей значение для развития методов системного анализа и обработки информации и существенное практическое значение для автоматизации промышленного контроля качества.

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, а представленные результаты свидетельствуют о личном вкладе соискателя в решение поставленной задачи. Основные положения диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях и прошли апробацию.

По актуальности, научной новизне, степени обоснованности и достоверности результатов, теоретической и практической значимости диссертация соответствует требованиям пунктов 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (с изменениями и дополнениями), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор,

Бурыгин Антон Олегович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Отзыв рассмотрен, обсужден и одобрен на заседании кафедры цифровых технологий и машинного обучения физико-технического факультета ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», протокол № 1 от 28 августа 2026 г.

Отзыв подготовил: профессор кафедры цифровых технологий и машинного обучения, доктор технических наук, профессор _____ Андрей Леонидович Приоров

Заведующий кафедрой цифровых технологий и машинного обучения, кандидат физико-математических наук, доцент _____ Михаил Валерьевич Чистяков

Сведения о ведущей организации

Полное наименование: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова».

Адрес: 150003, г. Ярославль, ул. Советская, д. 14.

Телефон: +7 (4852) 79-77-02. Факс: +7 (4852) 25-57-87.

Электронная почта: rectorat@uniyar.ac.ru. Сайт: https://www.uniyar.ac.ru.

Подпись заверяю:
Заместитель начальника управления-
директор центра кадровой политики
_____ Л.Н. Куфирина