Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
Информатики и радиоэлектроники

УДК 004.932.2

Птуха
Виктор Иванович

Программное средство контроля качества продукции при помощи компьютерного зрения

АВТОРЕФЕРАТ
на соискание степени магистра
по специальности 7-06-0612-02 – Информатика и технологии программирования

подпись магистранта

Научный руководитель
Боброва Н.Л.
к.т.н., доцент

Минск 2026

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности производственных процессов и обеспечение стабильного качества продукции являются приоритетными задачами для современных предприятий строительных материалов. Особое значение приобретает внедрение интеллектуальных систем технического зрения, способных выполнять контроль качества продукции в автоматическом режиме и снижать влияние человеческого фактора. Одним из перспективных направлений развития таких систем является использование методов глубинного обучения, обеспечивающих высокую точность распознавания визуальных дефектов изделий при разнообразии условий съёмки и текстурных характеристик поверхностей.

В последние годы значительные успехи достигнуты в применении свёрточных нейронных сетей (CNN) к задачам классификации изображений, однако их использование в области контроля качества керамических изделий остаётся ограниченным. Отечественная промышленность керамических материалов характеризуется широким ассортиментом продукции и вариативностью дефектов, формирующихся на различных стадиях технологического цикла. Это создаёт необходимость разработки специализированных подходов, учитывающих особенности визуальных признаков керамики, а также построения программного комплекса, обеспечивающего интеграцию нейросетевых алгоритмов в производственные структуры.

В настоящей работе поставлена и решена задача создания программного комплекса для автоматизированного контроля качества керамических кирпичей на основе методов компьютерного зрения и глубинного обучения. Разработана архитектура сверточной нейронной сети, обеспечивающая классификацию изображений по наличию и типу поверхностных дефектов, определены параметры её обучения и критерии оценки эффективности. Создано программное обеспечение, реализующее полный цикл анализа изображений – от предварительной обработки и загрузки данных до получения диагностического заключения в реальном времени. Предложенное решение отличается модульной структурой, кроссплатформенностью и возможностью масштабирования в промышленных условиях.

Практическая значимость работы состоит в повышении объективности и скорости проведения качественного контроля, сокращении производственных потерь и формировании основы для внедрения цифровых технологий в систему управления качеством на предприятиях строительной индустрии. Разработанные алгоритмы и программный комплекс могут быть адаптированы для визуальной

инспекции изделий различного типа, что расширяет их потенциал применения в смежных отраслях промышленности.

Полученные результаты представляют научно-прикладную ценность и создают предпосылки для дальнейшего развития отечественных интеллектуальных технологий контроля, направленных на повышение конкурентоспособности продукции и совершенствование процессов управления качеством.

Внедрение подобных разработок в практику позволит предприятиям перейти к цифровому формату контроля, обеспечить прозрачность производственных данных и повысить эффективность принятия управленческих решений в реальном времени. Это определяет актуальность и прикладную значимость выполненной работы, результаты которой могут послужить основой для дальнейших исследований и промышленной интеграции систем искусственного интеллекта в процессы технического контроля.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка и реализация программного средства автоматизированного контроля качества продукции на основе методов компьютерного зрения и свёрточных нейронных сетей, обеспечивающего высокоточную идентификацию визуальных дефектов поверхностей и возможность интеграции системы в производственные процессы предприятий строительной индустрии.

Для достижения поставленной цели требуется решение следующих задач:

1 Провести анализ нормативных требований, технологических особенностей и визуальных характеристик керамических изделий, определяющих критерии контроля качества.

2 Исследовать современные подходы к автоматизированной визуальной инспекции и определить оптимальные архитектуры нейронных сетей, применимые к задачам анализа изображений керамических поверхностей.

3 Разработать методику формирования и подготовки датасета, включающую процессы съёмки, аннотирования, предобработки и аугментации изображений дефектных и исправных изделий.

4 Разработать и обучить архитектуру сверточной нейронной сети, обеспечивающую достоверное выявление и классификацию дефектов на изображениях продукции.

5 Определить набор инструментов реализации и спроектировать архитектуру программного комплекса, включающего серверную часть, модуль анализа и пользовательский интерфейс.

6 Реализовать программное обеспечение для автоматического контроля качества продукции с поддержкой кроссплатформенной эксплуатации и возможностью интеграции в производственные системы.

7 Провести экспериментальные исследования эффективности разработанной модели и оценить точность её работы по основным метрикам классификации.

8 Подготовить рекомендации по внедрению и дальнейшему развитию программного комплекса в условиях промышленной эксплуатации.

Объектом исследования являются процессы автоматизированного контроля качества продукции на предприятиях, использующих технологии компьютерного зрения и интеллектуального анализа изображений.

Предметом исследования является программное средство контроля качества керамических изделий, реализующее методы компьютерного зрения и

свёрточных нейронных сетей для обнаружения и классификации дефектов поверхности.

В основу работы положена *гипотеза* о том, что применение алгоритмов свёрточных нейронных сетей для анализа изображений изделий позволяет существенно повысить точность и стабильность оценки качества по сравнению с традиционными методами визуального контроля. Проверка гипотезы осуществляется на примере процесса инспекции керамического полнотелого рядового кирпича размером 250×120×65 мм., выпускаемого ОАО «Керамин». Выбор данного объекта обусловлен стабильностью производственных параметров, длительным опытом предприятия и широкой распространённостью продукции, что обеспечивает достоверность и прикладную значимость экспериментальных результатов.

Личный вклад соискателя

Результаты, приведённые в диссертации, получены соискателем лично. Вклад научного руководителя Н.Л. Бобровой, заключается в формулировке целей и задач исследования.

Публикации результатов диссертации

По теме диссертации опубликовано 4 печатных работ, в рамках научных конференций.

Структура и объём диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, двух глав, заключения, списка использованных источников, списка публикаций автора и приложений. В первой главе выполнен комплексный анализ предметной области и объекта исследования. На основе изучения нормативной базы и технологических процессов формализованы требования к системе автоматизированного контроля, проведён обзор существующих методов визуальной инспекции и архитектур нейронных сетей, применяемых в задачах оценки качества изделий. Определены критерии эффективности и выявлены направления, требующие дальнейшего научного исследования. Во второй главе разработаны теоретические и инструментальные основы построения интеллектуальной системы контроля качества. Обоснован выбор типа нейронной сети, выделены компоненты для построения архитектуры сверточной нейронной сети, определены ключевые гиперпараметры и методы обучения. Сформирован технологический стек реализации, включая инструменты машинного обучения и

программные платформы серверного уровня. Разработано программное обеспечение, обеспечивающее интеграцию нейросетевого анализа в кроссплатформенную вычислительную среду и реализующее полный цикл обработки данных от загрузки изображений до получения результатов классификации.

Общий объём работы составляет 83 страницы, из которых основного текста 55 страниц, 20 рисунков на 20 страницах, 6 таблиц на 7 страницах, список использованных источников из 36 наименований на 4 страницах и 5 приложений на 7 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во **введении** показана актуальность темы исследования, обусловленная ростом требований к качеству выпускаемой продукции и интенсивным развитием автоматизированных систем контроля на основе цифровых технологий. Отмечено, что повышение конкурентоспособности предприятий требует внедрения эффективных средств объективного контроля качества. Подчёркнута значимость темы в контексте государственной политики Республики Беларусь, объявившей 2024 год «Годом качества». Приведены статистические данные по объёмам производства керамического кирпича в стране и в мире, обоснована практическая востребованность разработки программных средств технического зрения. Особое внимание уделено преимуществам использования компьютерного зрения для автоматического выявления дефектов, сокращения влияния человеческого фактора и повышения стабильности производства.

В **первой** главе проведено подробное исследование нормативных требований к качеству керамических кирпичей и факторов, влияющих на результаты визуального контроля. Рассмотрены контролируемые характеристики и допуски по размерам, отклонениям геометрии, ровности граней и окраски в соответствии с государственными стандартами. Проанализированы типовые дефекты керамических изделий: сколы, трещины, пятна, включения, а также их визуальные признаки и степень влияния на эксплуатационные свойства. Отдельно выделены факторы, снижающие точность предсказаний нейросетей: неравномерное освещение, шумы изображения, отражающие поверхности и различие текстур. Выполнен анализ существующих решений и аналогов систем автоматического визуального контроля. Рассмотрены традиционные методы машинного зрения, основанные на пороговой обработке изображений и выделении признаков, а также современные подходы, использующие свёрточные нейронные сети различной архитектуры – LeNet, VGG, ResNet, EfficientNet и MobileNet, Vision Transformers и прочие. Проведено сравнение достоинств и

ограничений указанных моделей применительно к анализу неоднородных поверхностей. Отмечено, что большинство готовых решений не адаптированы под специфику керамических материалов, требующих учёта фактуры, цвета и текстуры изделий. Представлена методика формирования и подготовки датасета. Разработан экспериментальный стенд для съёмки образцов кирпича, включающий регулируемое освещение, фиксированное положение камеры и калиброванное рабочее поле. Проведён фотосъёмочный эксперимент, в результате которого получено несколько тысяч изображений с различными типами дефектов и без них. Выполнена аннотация данных, предварительная обработка изображений (нормализация, обрезка), а также аугментация – вращения, зеркальные отражения и варьирование контрастности для повышения устойчивости модели. Для предотвращения смещения выборки реализована балансировка классов и оценена репрезентативность каждого типа дефектов. Глава завершается промежуточными выводами об исходных данных, ограничениях существующих методов и необходимости разработки специализированного программно-алгоритмического комплекса для задач визуального контроля керамических изделий.

Во **второй главе** изложена процедура проектирования, обучения и реализации модели классификации, а также создание программного обеспечения, обеспечивающего интеграцию алгоритма в пользовательскую среду. Уточнено постановочное описание задачи и обоснован выбор свёрточной нейронной сети как базовой архитектуры анализа изображений. Приведена структура модели, включающая последовательно соединённые слои, а именно свёрточные, подвыборки (pooling), нормализации, dropout и полносвязные. Описаны гиперпараметры и диапазоны их подбора, выбрано оптимальное сочетание параметров, обеспечивающее наилучшее соотношение точности и скорости обучения. Сделан выбор инструментов реализации программного комплекса. Для создания пользовательской части и API-взаимодействия использован язык Python, фреймворки TensorFlow и Keras для реализации и обучения нейросети, а также библиотека OpenCV для компьютерного зрения. Обоснован выбор используемой оболочки и технологий серверной части, обеспечивающих кроссплатформенность программного решения. Описан процесс обучения и оценка эффективности модели. Проведена организация эксперимента, в ходе которого реализован отбор обучающих и тестовых выборок, а также выполнена кросс-валидация. В качестве метрик оценки эффективности использованы показатели точности (Accuracy), полноты (Recall), специфичности (Precision) и интегральная метрика F1-score. По результатам экспериментов установлено, что разработанная модель достигает точности классификации свыше 94 %, что подтверждает её применимость в условиях реального производства. Изложены идеи, положенные в разработку программного

обеспечения для контроля качества. Представлена архитектура программного комплекса, включающая серверный модуль, административный веб-интерфейс и модуль реализации нейросетевой модели. Реализованы функции загрузки изображений, автоматического анализа, отображения результатов и ведения архива проверок. Обеспечена возможность последующего обновления модели и адаптации под другие изделия. Проведена апробация разработанного комплекса на изображениях продукции ОАО «Керамин», показавшая устойчивое функционирование программы в промышленных условиях.

В завершении главы сформулированы промежуточные выводы о результатах обучения и внедрения, подтверждена эффективность разработанного решения и определены направления дальнейших исследований по расширению функционала системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1 Проведён анализ нормативных документов и требований к контролируемым параметрам керамических кирпичей, определены типовые дефекты и их визуальные признаки. На основе анализа разработана система классификации дефектов, используемая при формировании обучающего набора данных и оценке результатов работы модели.

2 Разработана методика формирования и подготовки выборки изображений для обучения и тестирования свёрточной нейронной сети. Разработан и внедрён экспериментальный стенд съёмки керамических изделий, позволяющий получать репрезентативные изображения поверхности кирпича в стандартизированных условиях освещения и положения камеры. Применены методы аннотирования, предобработки, аугментации и балансировки данных, обеспечивающие достаточную обобщающую способность модели при ограниченном объёме исходных данных.

3 Разработана архитектура автоматизированной системы контроля качества керамических изделий на основе методов компьютерного зрения и глубинного обучения. Предложена структурная модель программного комплекса, включающая модули захвата изображений, предобработки, нейросетевого анализа и визуализации результатов. Система реализована для работы на персональных компьютерах общего назначения под управлением современных операционных систем и обеспечивает непрерывный мониторинг изделий в процессе инспекции

4 Предложен алгоритм автоматизированного принятия решений по отнесению изделия к категории «годное/бракованное» на основе результатов работы нейронной сети. Алгоритм реализован в составе программного комплекса и обеспечивает формирование отчётов с диагностической информацией и указанием типа обнаруженного дефекта. Проведены эксперименты по оценке точности классификации изображений изделий, показавшие достижение уровня корректного распознавания дефектов свыше 94%.

5 Разработано оригинальное программное обеспечение для автоматизированного контроля качества изделий, включающее серверную часть, административный веб-интерфейс и модуль взаимодействия с обученной нейросетевой моделью. Программный комплекс обеспечивает загрузку и анализ изображений в реальном времени, ведение архива проверок и масштабируемость при интеграции в производственные системы управления качеством.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1-А. Птуха В.И., Птуха К.И. Сравнение скорости сериализации данных из объектов в Django при помощи Django Rest Framework и Serpy // Студенческий: электрон. научн. журн. 2023. № 37(249). URL: https://sibac.info/journal/student/249/306114.

2-А. Птуха, В. И. Проблемы и оптимальные пути решений задачи контроля качества продукции при помощи компьютерного зрения = Problems and optimal ways to solve the problem of product quality control using computer vision / В. И. Птуха // Компьютерные системы и сети : сборник статей 60-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2024. – С. 504–507.

3-А. Птуха, В. И. Разработка подхода к сбору и аннотированию изображений керамического кирпича для задач компьютерного зрения = Development of an approach for collecting and annotating ceramic brick images for computer vision tasks / В. И. Птуха, К. И. Птуха // Компьютерное проектирование в электронике = Electronic Design Automation : сборник трудов Международной научно-практической конференции, Минск, 28 ноября 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. Р. Стемпицкий [и др.]. – Минск, 2024. – С. 144–147.

4-А. Птуха, В. И. Основные понятия и подходы при использовании свёрточных сетей для анализа изображений = Basic concepts and approaches in using convolutional networks for image analysis / В.И. Птуха // Компьютерные системы и сети: сборник материалов 61-ой научной конференции аспирантов, маги-странтов и студентов БГУИР – Минск, 2025. – С. 104-111.