

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки: 15.03.04 “Автоматизация технологических процессов и производств”

Отделение школы (НОЦ): Отделение автоматизации и робототехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы			
Разработка системы автоматизации определения дефектов на сталепрокатных листах			
УДК 681.5:620.19:621.771.2			
Студент			
Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т7Б	Ларченко Ксения Дмитриевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Беляев Александр Сергеевич			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Маланина Вероника Анатольевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Аверкиев Алексей Анатольевич			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления продукции требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда
ОПК(У)-2	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
ОПК(У)-3	Способен использовать современные информационные технологии, технику, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-4	Способен участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с автоматизацией производств, выборе на основе анализа вариантов оптимального прогнозирования последствий решения
ОПК(У)-5	Способен участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен собирать и анализировать исходные информационные данные для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством; участвовать в работах по расчету и проектированию процессов изготовления продукции и указанных средств и систем с использованием современных информационных технологий, методов и средств проектирования
ПК(У)-2	Способен выбирать основные и вспомогательные материалы для изготовления изделий, способы реализации основных технологических процессов, аналитические и численные методы при разработке их математических моделей, методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей материалов и готовых изделий, стандартные методы их проектирования, прогрессивные методы эксплуатации изделий
ПК(У)-3	готов применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, современные методы разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых технологий, средства автоматизации технологических процессов и производств
ПК(У)-4	Способен участвовать в постановке целей проекта (программы), его задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, разработке структуры его взаимосвязей, определении приоритетов решения задач с учетом правовых и нравственных аспектов профессиональной деятельности, в разработке проектов изделий с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров, в разработке проектов модернизации действующих производств, создании новых, в разработке средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации расчетов и проектирования
ПК(У)-5	Способен участвовать в разработке (на основе действующих стандартов и другой нормативной документации) проектной и рабочей технической документации в области автоматизации технологических процессов и производств, их эксплуатационному обслуживанию, управлению

	жизненным циклом продукции и ее качеством, в мероприятиях по контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации действующим стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК(У)-6	Способен проводить диагностику состояния и динамики производственных объектов производств с использованием необходимых методов и средств анализа
ПК(У)-7	Способен участвовать в разработке проектов по автоматизации производственных и технологических процессов, технических средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, в практическом освоении и совершенствовании данных процессов, средств и систем
ПК(У)-8	Способен выполнять работы по автоматизации технологических процессов и производств, их обеспечению средствами автоматизации и управления, готовностью использовать современные методы и средства автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-9	Способен определять номенклатуру параметров продукции и технологических процессов ее изготовления, подлежащих контролю и измерению, устанавливать оптимальные нормы точности продукции, измерений и достоверности контроля, разрабатывать локальные поверочные схемы и выполнять проверку и отладку систем и средств автоматизации технологических процессов, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, а также их ремонт и выбор; осваивать средства обеспечения автоматизации и управления
ПК(У)-10	Способен проводить оценку уровня брака продукции, анализировать причины его появления, разрабатывать мероприятия по его предупреждению и устранению, по совершенствованию продукции, технологических процессов, средств автоматизации и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, систем экологического менеджмента предприятия, по сертификации продукции, процессов, средств автоматизации и управления
ПК(У)-11	Способен участвовать: в разработке планов, программ, методик, связанных с автоматизацией технологических процессов и производств, управлением процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, инструкций по эксплуатации оборудования, средств и систем автоматизации, управления и сертификации и другой текстовой документации, входящей в конструкторскую и технологическую документацию, в работах по экспертизе технической документации, надзору и контролю за состоянием технологических процессов, систем, средств автоматизации и управления, оборудования, выявлению их резервов, определению причин недостатков и возникающих неисправностей при эксплуатации, принятию мер по их устранению и повышению эффективности использования
ПК(У)-18	Способен аккумулировать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции, компьютерных систем управления ее качеством,
ПК(У)-19	Способен участвовать в работах по моделированию продукции, технологических процессов, производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизированного проектирования, по разработке алгоритмического и программного обеспечения средств и систем автоматизации и управления процессами
ПК(У)-20	Способен проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять описания выполненных исследований и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций
ПК(У)-21	Способен составлять научные отчеты по выполненному заданию и участвовать во внедрении результатов исследований и разработок в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-22	Способен участвовать: в разработке программ учебных дисциплин и курсов на основе изучения научной, технической и научно-методической литературы, а также собственных результатов исследований; в постановке и модернизации отдельных лабораторных работ и практикумов по дисциплинам профилей направления; способностью проводить отдельные виды аудиторных учебных занятий (лабораторные и практические), применять новые образовательные технологии, включая системы компьютерного и дистанционного обучения

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки (специальность) – 15.03.04 “Автоматизация технологических процессов и производств”
 Отделение школы (НОЦ)– Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Громаков Е. И.
 (Подпись)(Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8Т7Б	Ларченко Ксения Дмитриевна

Тема работы:

Разработка системы автоматизации определения дефектов на сталепрокатных листах	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	19.02.2021 № 50 – 16/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2021
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объект проектирования: модель искусственного интеллекта, графический интерфейс системы детектирования дефектов; Оборудование: компьютер с ОЗУ не менее 8 Гб и не менее 4 CPU (Control Process Unit) с номинальной частотой от 2.2 ГГц.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Аналитический обзор аналогов; 2) Разработка системы детектирования дефектов на сталепрокатных листах; 3) Анализ и предобработка данных; 4) Выбор модели искусственного интеллекта; 5) Разработка графического интерфейса.
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Блок-схема модели нейронной сети</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП Маланина Вероника Анатольевна
Социальная ответственность	Ассистент ООД ШБИП Аверкиев Алексей Анатольевич
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Нет	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	19.02.2021
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Беляев Александр Сергеевич			19.02.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Г7Б	Ларченко Ксения Дмитриевна		19.02.2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа - Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки (специальность) – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники
 Уровень образования – бакалавр
 Период выполнения – весенний семестр 2020/2021 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2021
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.05.2021	Основная часть	60
13.05.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
20.05.2021	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н., доцент		19.02.2021

Консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Беляев Александр Сергеевич			19.02.2021

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., доцент		19.02.2021

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Т7Б	Ларченко Ксения Дмитриевна

Инженерная школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Литературные источники; 2. Методические указания по разработке раздела; 3. Норматив заработной платы; 4. Налоговый кодекс РФ. 5. Отчисления во внебюджетные фонды (30,2%)
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности системы детектирования с использованием глубокого обучения с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Потенциальные потребители результатов исследования. 2. Анализ конкурентных технических решений; 3. SWOT – анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1. Построение плана-графика выполнения ВКР, составление соответствующей сметы затрат, расчет цены результата ВКР; 2. Общий расчет сметной стоимости.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	1. Определение показателей ресурсоэффективности разработки.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	12.04.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Маланина В.А.	к.э.н., доцент		12.04.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т7Б	Ларченко Ксения Дмитриевна		12.04.2021

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Т7Б	Ларченко Ксения Дмитриевна

Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема ВКР:

Разработка системы автоматизации определения дефектов на сталепрокатных листах

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: система определения дефектов с применением алгоритмов глубокого обучения; Область применения: производство стали; Рабочее место: пространство для оператора, система «человекмашина».
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018); Требования к организации оборудования рабочих мест с ПК регулируется СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования; ГОСТ 22614-77. Система «человекмашина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования; ГОСТ 23000-78. Система «человекмашина». Пульты управления. Общие эргономические требования. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы; ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности; ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация</p>
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Опасные и вредные факторы: -отклонение показателей микроклимата; -превышение уровня шума; -отсутствие или недостаток естественного света; -недостаточная освещенность рабочей зоны;</p>

	-поражение электрическим током; - психофизиологические факторы Мероприятия по защите включают в себя использование индивидуальных и коллективных средств защиты, а также соблюдение режима работы и физкультурные минутки.
3. Экологическая безопасность:	Литосфера: утилизация отходов производства и потребления; Система (конструкция ЭВМ) содержит различные пластиковые и металлические элементы, которые в случае прихода в негодность должны быть соответствующим образом утилизированы или переданы на вторичную обработку.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: пожары в здании на производстве; Наиболее типичная ЧС: пожар. Во избежание возникновения возгорания необходимо соблюдать технику безопасности при работе с электрооборудованием.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	12.04.2021
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Аверкиев Алексей Анатольевич	-		12.04.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т7Б	Ларченко Ксения Дмитриевна		12.04.2021

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 97 с., 39 рисунков, 27 таблиц, 25 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: детектирование дефектов, система распознавания, глубокое обучение, компьютерное зрение, производство стали.

Объектом исследования являются модель нейронной сети, разработка графического интерфейса системы детектирования дефектов.

Цель работы – разработка системы автоматизации определения дефектов на сталепрокатных листах.

В процессе исследования проводились анализ имеющихся систем компьютерного зрения, была разработана схема разработанной системы, был разработан алгоритм распознавания дефектов, был создан графический интерфейс для отображения результатов проектирования.

В результате исследования был создан графический интерфейс с применением модели искусственного интеллекта для автоматического детектирования дефектов на сталелитейном производстве.

Степень внедрения: программа почти готова к внедрению.

Область применения: работа на сталелитейном производстве.

Экономическая эффективность/значимость работы была рассчитана стоимость ресурсов проведения исследования, описаны затраты на заработные платы, отчисления, а также накладные расходы. Определена ресурсосберегающая, бюджетная, финансовая, экономическая и социальная эффективности проекта.

В будущем планируется продолжение работы по данной тематике, расширение функционала, доработка и внедрение усовершенствованных алгоритмов.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ

В данной работе использовались следующие термины с соответствующими определениями:

система – разрабатываемая система автоматического детектирования дефектов на сталепрокатных листах, описываемая в данной работе;

искусственный интеллект – это система или машина, которая может имитировать человеческое поведение, чтобы выполнять задачи, и постепенно обучаться, используя собранную информацию;

компьютерное зрение – теория и технология создания машин, которые могут производить обнаружение, отслеживание и классификацию объектов;

машинное обучение – класс методов искусственного интеллекта, характерной чертой которых является не прямое решение задачи, а обучение в процессе применения решений множества сходных задач;

глубокое обучение – совокупность методов машинного обучения, основанных на обучении представлениям;

сверточная нейронная сеть — специальная архитектура искусственных нейронных сетей, нацеленная на эффективное распознавание образов, входит в состав технологий глубокого обучения.

В данной работе использовались следующие сокращения:

АСУ ТП: автоматизированная система управления технологическим процессом;

БД: база данных;

СУБД: система управления базой данных;

СНС: сверточная нейронная сеть;

ПО: программное обеспечение;

ТКЗ: технология компьютерного зрения;

НС: нейронные сети;

ИИ: искусственный интеллект;

ML: машинное обучение;

DL: глубокое обучение.

Оглавление

Введение.....	14
1 Анализ существующих решений в области систем детектирования дефектов на сталелитейном производстве	16
1.1 Mallenom systems.....	16
1.2 CameraIQ	17
1.3 Альбига.....	18
2 Разработка системы автоматизации определения дефектов на сталепрокатных листах	22
2.1 Структура Системы	22
2.2 Подготовка и описание данных	25
2.2.1 Базовый разведочный анализ данных.....	26
2.2.2 Создание маски для изображений.....	28
2.3 Архитектура сверточной нейронной сети	29
2.3.1 Архитектура U-Net.....	31
2.3.2 Архитектура DenseNet.....	32
2.3.3 Архитектура предобученной модели.....	33
2.4 Реализация обучения моделей искусственного интеллекта в рамках задачи детектирования дефектов.....	35
2.4.1 Применение нейронной сети U-NET	35
2.4.2 Применение нейронной сети DenseNET	39
2.4.3 Применение XceptionX.....	42
2.4.4 Сравнение моделей искусственного интеллекта.....	43
2.5 Разработка графического интерфейса системы	45
2.5.1 Описание структуры графического интерфейса системы	45
2.5.2 Оценивание разработанного интерфейса системы.....	55
2.6 Выводы по разделу	57
3 Финансовый менеджмент,ресурсоэффективность и ресурсосбережение	59
3.1 Предпроектный анализ.....	59
3.2 Организация и планирование работ.....	65
3.3 Бюджет разработки системы детектирования	68

3.4 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	73
3.5 Вывод по разделу	75
4 Социальная ответственность.....	77
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	77
4.2 Производственная безопасность	79
4.3 Экологическая безопасность.....	86
4.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	86
4.3.2 Анализ влияния процесса эксплуатации объекта на окружающую среду	86
4.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	87
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	88
4.4.1 Вероятные ЧС, которые может инициировать объект исследований	88
4.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	89
4.5 Выводы по разделу	90
Заключение	92
Список используемой литературы	93
Приложение А (обязательное) Архитектура модели XceptionX.....	96

Введение

Производственный процесс представляет собой широкий набор взаимосвязанных трудовых и автоматизированных процессов, направленных на изготовление продукции заявленного производителем качества. Общие критерии оценки качества устанавливаются в нормативной документации: технических регламентах, стандартах, технических условиях на конкретные виды продукции. Сегодня в условиях рыночной экономики и высокой конкуренции конечный потребитель продукции выбирает производителя, который может гарантировать соблюдение качества продукции и установленных законодательных и нормативных требований на всех этапах производства. От степени совершенствования контроля качества, его организации и технического оснащения зависит эффективность деятельности всей компании в целом, поэтому производителю необходимо поддерживать развитие данной составляющей производства на высоком уровне. Таким образом, обеспечение контроля качества является актуальной задачей, т.к. именно данный комплекс мер направлен на проверку и поддержание соответствия качественных и/или количественных характеристик продукции.

Актуальность

В мире бурно развивающихся технологий совершенствование методов контроля качества на производстве является важным вопросом. Исследуемой отраслью является сталелитейное производство, где контроль качества *необходим* для оценки состояния поверхности выпускаемой продукции. Процесс обнаружения дефектов и их классификации на сталелитейных заготовках сопряжен с рядом проблем, так, как правило, используются визуальный способ – внешний осмотр специалистом. При этом в процессе производства проведение подобного осмотра является затруднительным: размеры сталепрокатных листов могут варьироваться от двух-трех метров до нескольких сотен, а скорость их движения по конвейеру не позволяет обнаружить и классифицировать дефекты с высокой точностью. Данные

факторы приводят к увеличению числа бракованной продукции и влекут за собой издержки сталелитейной компании. Современные системы автоматизации детектирования дефектов с применением методов машинного обучения могут минимизировать приведенные проблемы и усовершенствовать методы контроля качества на производстве стали.

В связи с вышесказанным, необходимо исследовать и разработать современные методы в сфере контроля качества на сталелитейном производстве для уменьшения возникающих дефектов и нежелательных отклонений от заявленных характеристик продукции.

Цели и задачи разрабатываемой Системы

Цель: разработать систему автоматизации определения дефектов на сталепрокатных листах при помощи методов глубокого обучения для повышения контроля качества продукции на производстве.

Задачи текущей работы представлены следующими пунктами:

1. исследовать аналогичные системы детектирования;
2. разработать схему системы детектирования;
3. проанализировать данные для выявления особенностей и выбора модели;
4. применить и проанализировать архитектуры нейронных сетей;
5. создать архитектуру на основе предобученной нейронной модели Xception;
6. спроектировать интерфейс для работы оператора с моделью;
7. оценить результаты разработанной автоматической системы.

1 Анализ существующих решений в области систем детектирования дефектов на сталелитейном производстве

На первом этапе разработки необходимо исследовать наличие текущих систем, функционирующих в рамках задачи детектирования дефектов на сталелитейном производстве с целью выявления их сильных и слабых сторон. Рассмотрим существующие на рынке решения по внедрению технологии компьютерного зрения с применением искусственного интеллекта. Ниже представлены компании и их разработки, предоставляющие услуги по внедрению, созданию и сопровождению эксплуатации систем с применением ТКЗ.

1.1 Mallenom systems

Данная компания предоставляет широкий спектр услуг по внедрению компьютерного зрения на производство, ритейл и другие отрасли человеческой жизнедеятельности. Для задачи обнаружения дефектов компания заявляет возможность выполнения следующих пунктов [1]:

- обнаружение дефектов на поверхности изделий: отверстия, пятна, капли, царапины, полосы, загрязнения и другие;
- выявление видимых посторонних включений в продукции: пузыри, камни, полосы и другие;
- обнаружение отклонений изделий по размеру, форме, цвету, текстуре;
- обнаружение непрокрасов, смазов и пропусков наносимого изображения или текста.

Компания содержит в основе разработанных систем собственные решения на базе нейронных сетей и детерминированных алгоритмов анализа изображений и алгоритмы от компании Cognex, оборудование также поставляется от данного производителя. Mallenom systems предоставляет консультационную и инженерную поддержку, а также гарантийное и послегарантийное сервисное обслуживание.

Преимущества:

- сотрудничество с Cognex (зарекомендованный производитель систем с применением компьютерного зрения);
- опыт работы в сфере транспорта, машиностроения, нефтегазовой, металлургической, пищевой, фармацевтической, алмазодобывающей, атомной и других отраслях промышленности.
- существует возможность построения 3D-модели объектов с учетом внутренних и поверхностных дефектов в задачах отслеживания качества продукции.

Недостатки:

- нет демо-версии ПО для работы с системой компьютерного зрения.

1.2 CameraIQ

Данная компания предоставляет широкий набор видеокамер различных категорий: от простых камер с применением машинного зрения до специализированных высокоскоростных и научных высокочувствительных камер. Также компания предлагает внедрение программного обеспечения для машинного зрения. В рамках дальнейшей эксплуатации систем компания заявляет возможность выполнения следующих пунктов [2]:

- решение абсолютно любых задач машинного зрения;
- обеспечивается синхронизация съемки с внешними процессами и оборудованием;
- получение изображений, оптимальных для компьютерной обработки, анализа, измерений, диагностики, распознавания и контроля.

Преимущества:

- наличие демо-версии ПО, есть возможность перепрограммировать ПО на языках C, C++,C#,Python и Visual Basic .NET;

- наличие гарантии и лицензии, а также поддержки модуля глубокого обучения;
- опыт работы в сфере транспорта, машиностроения, металлургической, пищевой отраслях промышленности;
- возможность демонстрации и тестирования видеокамер и компонентов, консультации по выбору оборудования и программного обеспечения.

Недостатки:

- нет примеров применения на сайте (по состоянию на апрель 2021 года);
- компания специализируется в большей степени на поставках оборудования и ПО, внедрение готовых систем является частным случаем.

1.3 Альбига

Компания предоставляет услуги по внедрению системы автоматизированного контроля качества продукции и управления роботами манипуляторами, а также предлагает внедрение программного обеспечения для машинного зрения. Все вышеперечисленное достигается посредством внедрения технологии технического зрения Datalogic в производственный процесс, что предполагает применение интеллектуальных камер, считывателей штрих кодов, для решения следующих задач [3]:

- автоматизации инспекции качества изделий;
- исключения человеческого фактора и повышения скорости процессов инспекции, сбора данных об изделиях в ходе всего производственного цикла;
- решение задачи обнаружения дефектов, контроля качества, уровня наполнения и корректности сборки продукции;

- обеспечивается внедрение (по согласованию) промышленного компьютера для хранения данных и проведения настройки, программного обеспечения IMPACT и других компонентов.

Преимущества:

- наличие отдельных частей системы для внедрения: от видеопроцессора до элементов подсветки;
- разработка ТЗ, внедрение и обслуживание заявлена на сайте как обязательные части интеграции системы;
- наличие интеллектуальных камер с линзой и фильтрами для получения и обработки изображений, контроллеров для обработки сложных задач с подключением нескольких камер, подсветки и лазерных датчиков для контроля присутствия изделия и команды на начало инспекции, а также другого оборудования в комплексе заказа системы.

Недостатки:

- нет примеров применения на сайте (по состоянию на апрель 2021 года);
- компания специализируется в большей степени на поставках оборудования и ПО, внедрение готовых систем является частным случаем;
- нет демо-версии, не загружаются презентационные материалы для демонстрации работы компании (по состоянию на апрель 2021 года).

В таблице 1 представлена сравнительная характеристика технической части внедряемых систем представленных выше компаний. Под пунктом 1 рассматривается полный цикл внедрения системы детектирования дефектов от **Mallenom systems**. Под пунктом 2 рассматривается готовое решение от **CameraIQ** на базе программного обеспечения **MERLIC** и видеодатчиков **Baumer VeriSens** для стандартных задач машинного зрения. В пункте 3

представлены характеристики внедрения системы **IMPACT_ОБЪЕКТ ДЕТЕКТОР** компьютерного зрения от компании **Альбига**.

Наличие факторов в имеющихся решениях обозначено знаком «+», отсутствие – знаком «-», если информация по фактору оценивания не была найдена, то в столбце сравнительной характеристики указан знак «?».

Таблица 1 – Сравнительная характеристика технической части

№	Наличие ПО	Программируемость ПО	Анализ данных	Сегментация данных	Детектирование дефектов	Классификация	Архивирование
1	+	-	+	+	+	+	-
2	+	+	+	+	?	?	-
3	+	+	?	+	+	?	+

В таблице 2 представлена сравнительная характеристика эксплуатационной части внедряемых систем, представленных выше компаний.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика эксплуатационной части

№	Наличие GUI интерфейса	Наличие демо-версии	Заявленная точность	Внедрение системы	Обучение персонала	Сопровождение системы	Спецификация
1	+	-	+	+	+	+	?
2	+	+	?	+	+	+	+
3	?	-	?	+	+	+	?

В большинстве случаев стоит выделить как положительный признак наличие ПО и его программируемость (аналоги 2 и 3), в аналоге 1 достоинством является выделение детектирования дефектов в отдельный подкласс задач компании, также существует интеграция анализа данных.

Основными недостатками среди рассмотренных аналогов являются: в большинстве случаев отсутствие доступной демо-версии для демонстрации взаимодействия оператора с системой анализа изображений, ознакомительного плана системы компьютерного зрения для заказчика с данной технологией (п. 2 и 3) и работы с СУБД заказчика. Кроме того, стоит отметить, что прямых аналогов разрабатываемой системы на рынке не

представлено, компании решают задачи сбора данных об изделиях, их классификации, обнаружения отклонения по положению, цвету, текстуре объекта. При этом задача детектирования дефектов заявлена лишь у одной из рассмотренных компаний, в связи с чем появляется задача разработки комплексной системы с применением алгоритмов глубокого обучения для возможности выявления дефектов изделий и отслеживания качества выпускаемой продукции на производстве.

2 Разработка системы автоматизации определения дефектов на сталепрокатных листах

2.1 Структура Системы

Разрабатываемая система автоматического детектирования дефектов на сталепрокатных листах является информационным обеспечением для работающих на производстве операторов. Интерфейс Системы должен получать входные данные в виде снимков сталепрокатных листов и при помощи методов глубокого обучения автоматически детектировать дефекты на стали. Оператор, взаимодействуя с Системой, получает данные о бракованных единицах продукции, которые необходимо проверить на качество. На верификацию дефекта отбирают обозначенные Системой сталепрокатные листы, при этом процесс производства *не прерывается*. На рисунке 2.1 представлена диаграмма последовательностей действий оператора и разрабатываемой Системы автоматизации в случае детектирования дефекта на сталепрокатном листе.

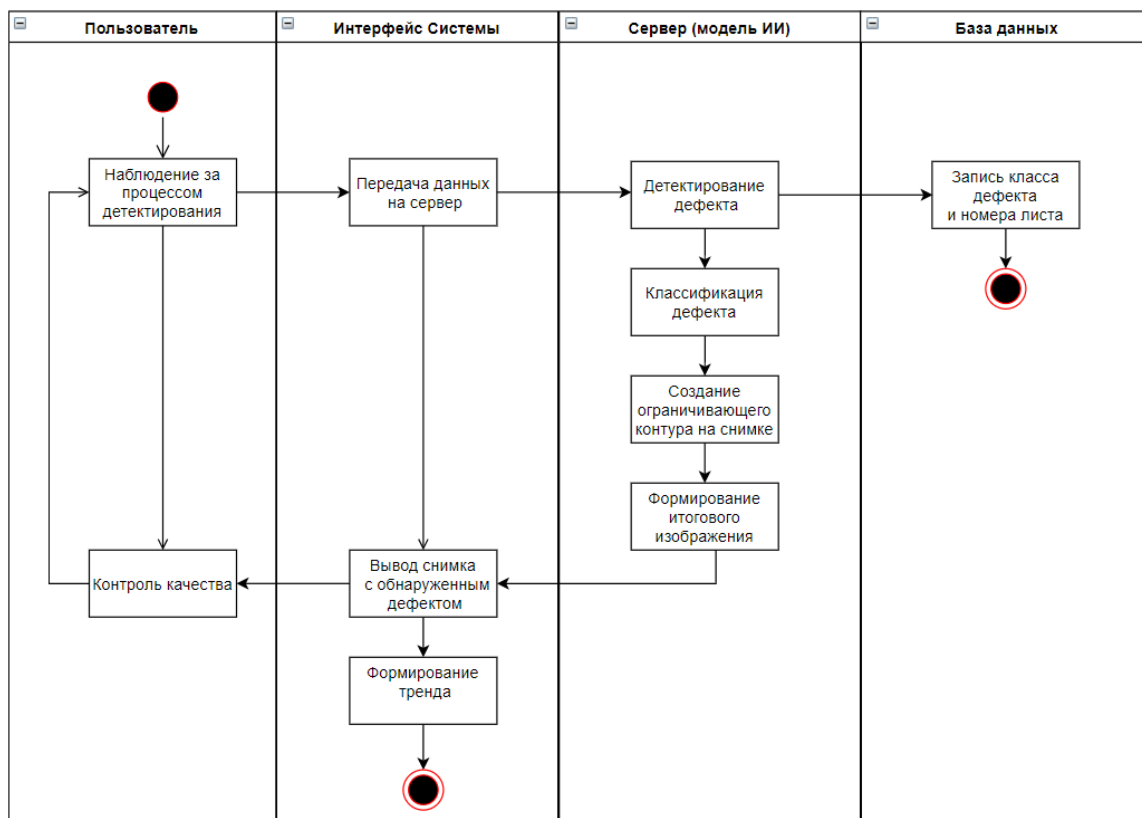


Рисунок 2.1 – Диаграмма последовательностей

На диаграмме последовательности, кроме оператора, осуществляющего контроль качества и регулирование производственного процесса, видны компоненты Системы:

- графический интерфейс для вывода информации о текущем процессе производства на экран компьютера;
- сервер, осуществляющий детектирование дефекта при помощи разработанной модели искусственного интеллекта;
- база данных, необходимая для архивирования информации о текущем производственном процессе в режиме реального времени с возможностью дальнейшей выгрузки для отчётной формы.

В таблице 3 приведен перечень требований к разрабатываемой Системе:

Таблица 3 – Перечень требований

№	Наименование	Пояснение
1	Обработка информации о технологическом процессе	Отображение входных данных в виде снимков сталепрокатных листов каждые 5 секунд.
2	Автоматическое распознавание и классификация дефектов	Наложение контура местонахождения дефекта на снимок. Разделение обнаруженных дефектов по классам с выделением цветом.
3	Сигнализация об обнаруженном дефекте	Явный сигнал обнаруженного дефекта в виде текстового, цветового обозначения
4	Построение тренда	Отображение тренда детектирования дефектов в режиме реального времени
5	Выгрузка текущих данных	Реализация функция выгрузки данных за последнюю сессию без сохранения в БД
6	Запись информации о данных в БД	Архивирование информации в базе данных с возможностью их дальнейшей выгрузки
7	Выгрузка архивов	Выгрузка архивов из СУБД, записанных ранее
8	Информационное описание	Описание Системы, данных, модели ИИ
9	Демо-версия	Реализация демонстрационной демо-версии с возможностью использования программы на данных из файлов

При помощи реализации вышеуказанных требований использование Системы позволит повысить эффективность контроля качества дефектов на сталепрокатных листах за счет оперативного и точного обнаружения бракованных участков без остановки процесса производства.

На рисунке 2.2 представлена функциональная схема разрабатываемой Системы.



Рисунок 2.2 – Функциональная схема Системы

Передача данных осуществляется с помощью сервера через соединение к камерам и/или может быть загружена оператором с локальных хранилищ внутри производства (а также с удаленных, облачных систем). Данные передаются с помощью описанного выше графического интерфейса приложения для анализа, получения статистической информации и прогнозирования результатов. Спустя некоторое время обработки изображения модель искусственного интеллекта детектирует на снимке дефект, приложение визуализирует выводы на экранных формах. Оператор, получив информацию, использует ее для контроля качества во время производственного процесса и/или составления отчетной документации для организационных структур компании.

Минимальный перечень требований для оптимального использования Системы на производстве с большим потоком данных (непрерывный анализ файлов) приведен в таблице 4. При этом требования могут варьироваться в зависимости от масштабов производства, например, при анализе видеопотока может потребоваться намного больше вычислительных мощностей оборудования.

Таблица 4 – Перечень минимальных требований

№	Наименование	Требования
1	Процессор	2+GHz
2	Оперативная память (ОЗУ)	16+GB RAM
3	Свободное место на жестком диске	50 GB
4	3D видеокарта с поддержкой аппаратного ускорения и OpenGL 3.0 (и выше)	3+GB

2.2 Подготовка и описание данных

В представленной работе используются данные, представляющие набор изображений (фотографий) сталепрокатных листов металла от сталелитейной и горнодобывающей компании “Северсталь” [4]. Для создания системы детектирования необходимо сегментировать и классифицировать дефекты на сталепрокатных листах тестовой выборки. Изображение сталепрокатного листа может не иметь дефектов или содержать один, несколько дефектов, каждый из которых принадлежит к классам, размеченные под ID значениями от 1 до 4 включительно в файлах с расширением .csv. На рисунке 2.3 представлены все файлы для обучения модели. На рисунке 2.4 отображены объекты данных внутри ячейки кода.

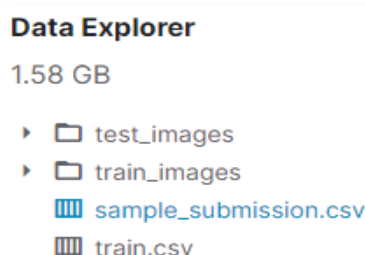


Рисунок 2.3 – Директория данных

```
train_df = pd.read_csv("../input/severstal-steel-defect-detection/train.csv")
sample_df = pd.read_csv("../input/severstal-steel-defect-detection/sample_submission.csv")
TRAIN_PATH = '../input/severstal-steel-defect-detection/train_images/'
TEST_PATH = '../input/severstal-steel-defect-detection/test_images/'
```

Рисунок 2.4 – Объекты данных

На рисунке 2.5 приведен пример снимка сталепрокатного листа без дефекта. На рисунке 2.6 отображен пример снимка с повреждением класса 3.

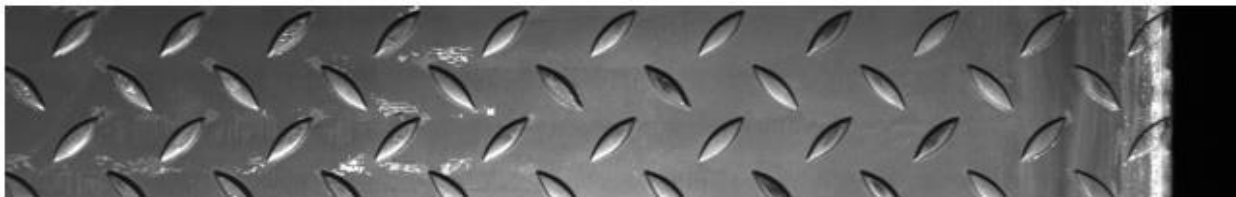


Рисунок 2.5 – Образец снимков без дефекта

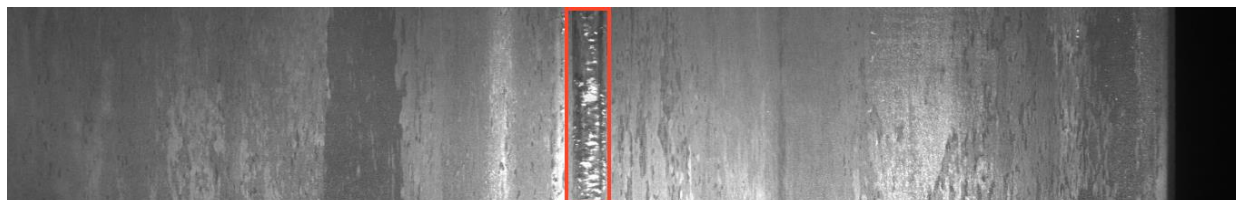


Рисунок 2.6 – Образец снимка с дефектом класса 3

Классы дефектов представляют собой набор визуально схожих типов дефектов [4], на снимках также включены возможные текстурные особенности металла:

- металл с окалиной;
- изображения с маркировкой;
- металл с рифлением.

Таким образом, имеются две папки с данными в формате jpg файлов и два файла в расширении .csv, содержащие информацию о размеченных данных для дальнейшего обучения модели ИИ.

2.2.1 Базовый разведочный анализ данных

Было обнаружено, что в датасете нет пропущенных данных при помощи методов `isna()` и `sum()`, которые возвращают количество отсутствующих значений в колонках датафрейма. На рисунке 2.7 представлен результат подсчета пропущенных данных и первые пять строк датасета для тренировки. Свойства представляют собой `id` картинки (`ImageId`), `id` класса (`ClassId`) и закодированные пиксели (`EncodedPixels`).

```
train_df.isna().sum()

ImageId      0
ClassId      0
EncodedPixels 0
dtype: int64

+ Code      + Markdown

train_df.head()

   ImageId  ClassId  EncodedPixels
0  0002cc93b.jpg    1  29102 12 29346 24 29602 24 29858 24 30114 24 3...
1  0007a71bf.jpg    3  18661 28 18863 82 19091 110 19347 110 19603 11...
2  000a4bccdd.jpg    1  37607 3 37858 8 38108 14 38359 20 38610 25 388...
3  000f6bf48.jpg    4  131973 1 132228 4 132483 6 132738 8 132993 11 ...
4  0014fce06.jpg    3  229501 11 229741 33 229981 55 230221 77 230468...
```

Рисунок 2.7 – Исследуемый датафрейм

Было найдено, количество изображений в каждом классе дефектов (рисунок 2.8):

- 897 изображений в классе 1;
- 247 изображений в классе 2;
- 5150 изображений в классе 3;
- 801 изображение в классе 4.

Количество дефектов второго типа встречается с наименьшей вероятностью, около 10 % образцов имеют повреждение данного вида. При этом количество изображений с дефектами третьего класса встречаются наиболее часто. Полученные выводы при анализе тренировочных данных должны совпадать с результатами тестирования модели искусственного интеллекта.



Рисунок 2.8 – Количество объектов по классам

Также было выяснено, что чаще всего встречается изображение с одним классом дефекта, наличие двух или трех дефектов появляется сравнительно реже – лишь 850 изображений имеют два класса дефектов и 6 изображений имеют три класса дефектов одновременно (рисунок 2.9).

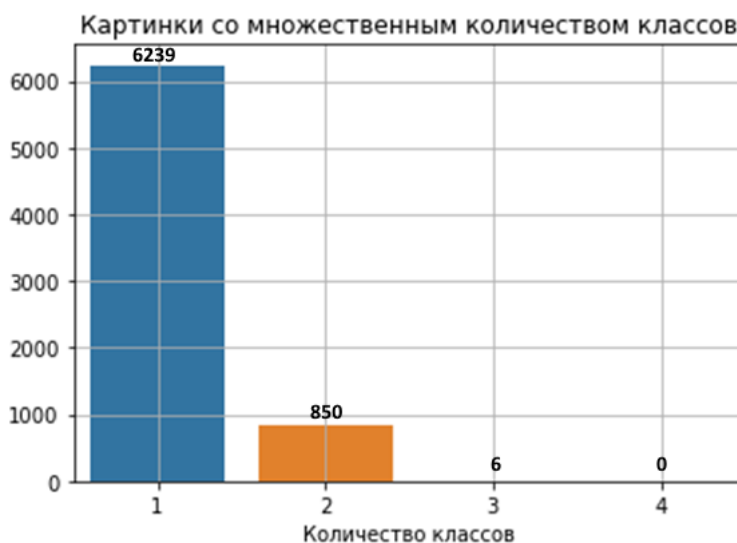


Рисунок 2.9 – Количество объектов нескольких классов

2.2.2 Создание маски для изображений

Семантическая сегментация изображения представляет собой присвоение каждому пикселю определенной метки класса, в нашем случае имеются 4 типа дефектов. Для обучения модели глубокого обучения необходимо сегментировать дефекты на изображениях, при этом дефекты в

исходном датасете представлены последовательностями чисел. Применим алгоритм RLE, которой расшифровывается как *кодирование длин серий* (англ. Run-Length Encoding) [5]. Функция с данным алгоритмом возвращает маску размером изображения (ширина, высота, глубина), где глубина - количество цветовых каналов в зависимости от количества дефектов изображения. В маске присутствуют значения 1, 0, где 1 соответствует пикселю исходного изображения с дефектом, 0 соответствует отсутствию дефекта на снимке. На рисунке 2.10 представлен результат работы: каждое изображение имеет 4 маски для локализации дефектов на исходном снимке.

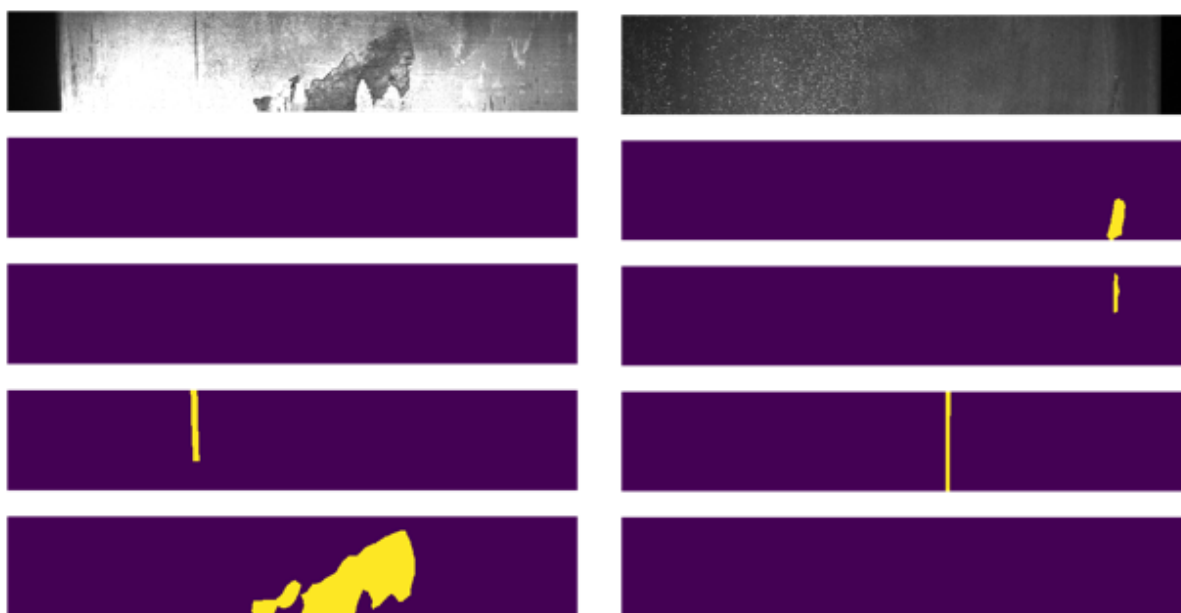


Рисунок 2.10 – Пример маски для изображения с 2-мя и 3-мя дефектами

Так, на изображениях 2.10 явно сегментированы дефекты классов 3, 4 и 1, 2, 3 при помощи вышеуказанного алгоритма. В следующем пункте рассмотрены архитектуры нейронной сети для дальнейшего применения к подготовленным данным.

2.3 Архитектура сверточной нейронной сети

Наилучшие результаты в области распознавания лиц показала сверточная нейронная сеть (Convolutional Neural Network), которая является логическим развитием идей таких архитектур НС как когнитрона и

неокогнитрона [6]. На данный момент сверточная нейронная сеть и ее модификации считаются лучшими по точности и скорости алгоритмами нахождения и классификации объектов [7].

Структура сверточной нейронной сети

Структура сверточной нейронной сети состоит из разных видов слоев: сверточные (convolutional) слои, субдискретизирующие (subsampling, подвыборка) слои и слои «обычной» нейронной сети – перцептрона (полносвязные слои) [5], каждый из которых состоит из карт признаков (рисунок 2.11) [6].

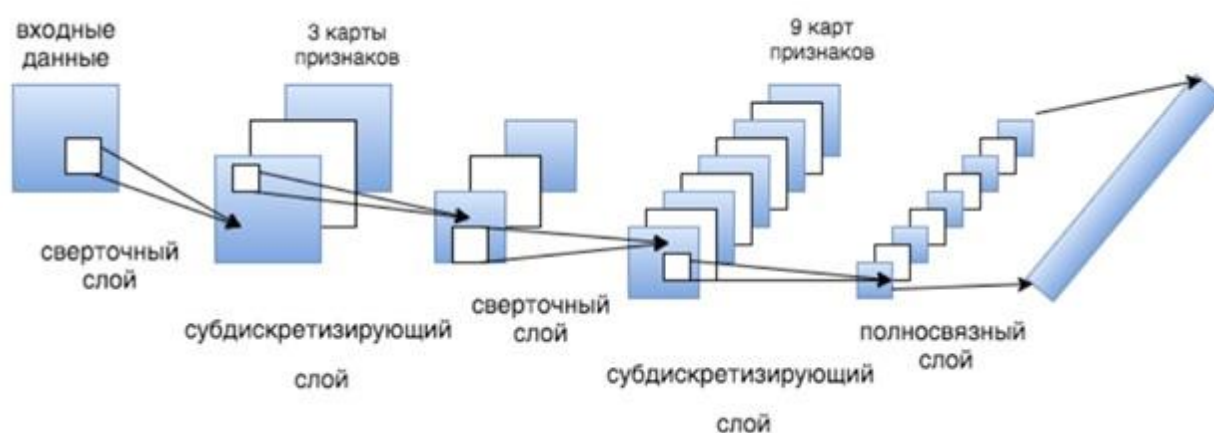


Рисунок 2.11 – Структура СНС

Каждый вычислительный слой сети состоит из множества карт признаков, нейроны карты признаков получают входные данные от прямоугольной области размера $n \times m$ входного изображения. В первом слое подвыборки каждая карта осуществляет поиск некоторого признака на изображении, например, это могут быть определенные контуры или геометрические формы. Достигается это за счет использования общей для всей карты признаков матрицы весов и особой организацией локального рецептивного поля.

Операция субдискретизации (англ. subsampling, англ. pooling, также переводимая как «операция подвыборки» или операция объединения), выполняет уменьшение размерности сформированных карт признаков [5]. Посредством локального усреднения достигается уменьшение разрешения для

карт признаков. За счёт данной операции, кроме ускорения дальнейших вычислений, сеть становится более инвариантной к масштабу входного изображения.

Конкретные признаки, извлекаемые той или иной картой признаков, определяются в процессе обучения нейронной сети с учителем. Для обучения используются стандартные методы, чаще всего *метод обратного распространения ошибки* [7]. Выход полносвязанного слоя передается на функцию активации [6], которая производит распределение ответов сети по меткам классов, где итоговым ответом СНС является наиболее вероятный класс.

2.3.1 Архитектура U-Net

В данной работе для начала будет рассмотрена модель: U-Net, которая считается одной из стандартных архитектур СНС для задач сегментации изображений [5]. Архитектура состоит из стягивающего пути для захвата контекста (область 1) и симметричного расширяющегося пути (область 2), который позволяет осуществить точную локализацию. Архитектура сети приведена на рисунке 2.12.

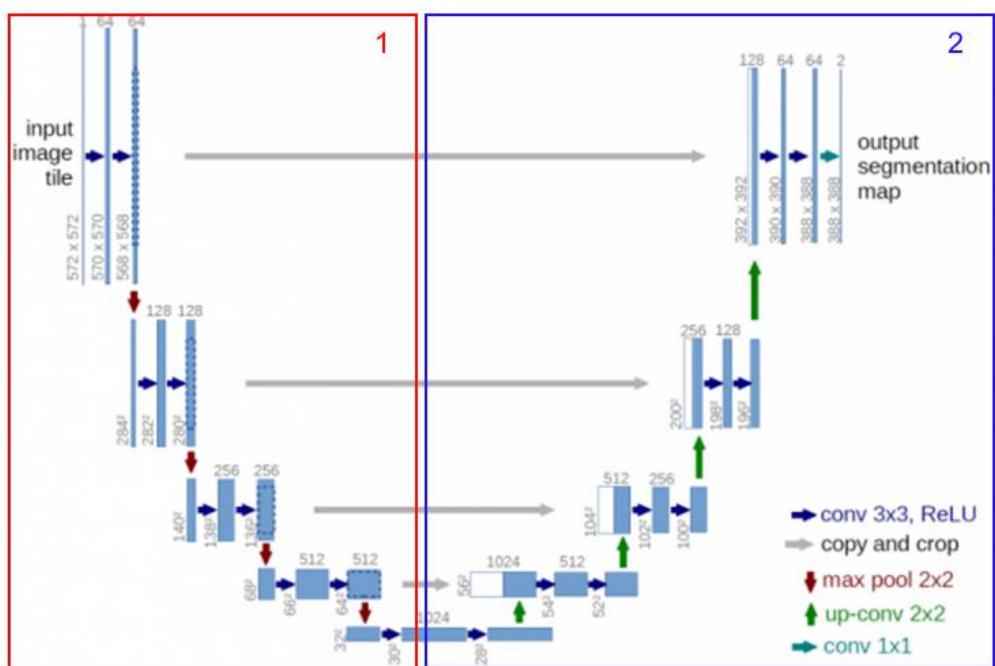


Рисунок 2.12 – Структура U-Net

Сужающийся путь — типичная архитектура сверточной нейронной сети. Он состоит из повторного применения двух сверток 3×3 , за которыми следуют применения ReLU и операция максимального объединения Max pool (2×2 степени 2) для понижения разрешения [4].

На каждом этапе понижающей дискретизации каналы свойств удваиваются. Каждый шаг в расширяющемся пути состоит из операции повышающей дискретизации карты свойств, за которой следуют:

- свертка 2×2 , которая уменьшает количество каналов свойств;
- объединение с соответствующим образом обрезанной картой свойств из стягивающегося пути;
- две 3×3 свертки, за которыми следует ReLU.

Обрезка необходима из-за потери граничных пикселей при каждой свертке. На последнем слое свертка 1×1 используется для приведения каждого 64-компонентного вектора признаков до требуемого количества классов. Всего сеть имеет 23 свёрточных слоя [5].

2.3.2 Архитектура DenseNet

Также в этой работе будет рассмотрено применение сети DenseNet, которая была опубликована в 2017-ом году. В стандартной ConvNet, входное изображение проходит многократную свертку и получает карты признаков высокого уровня. Результат достаточно популярной и успешной модель ResNet (Deep Residual Network) позволил предположить, что укороченное соединение обобщенных признаков предыдущего блока в СНС позволяет обучать более глубокие и точные модели [6]. Авторы проанализировали это наблюдение и представили компактно соединенный (dense) блок, который соединяет каждый слой с каждым другим слоем [6]. На рисунке 2.13 представлена архитектура данной нейронной сверточной сети [6].

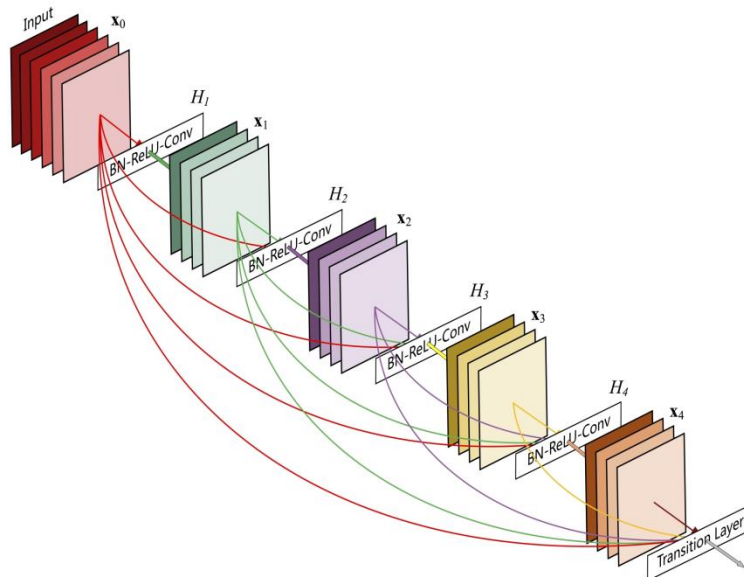


Рисунок 2.13 – Структура DenseNet

Важно отметить, что, в отличие от ResNet, признаки прежде чем они будут переданы в следующий слой не суммируются, а конкатенируются в единый тензор – n-мерный массив данных [8]. При этом количество параметров сети DenseNet намного меньше, чем у сетей с такой же точностью работы.

2.3.3 Архитектура предобученной модели

Кроме вышеуказанных архитектур, в данной работе исследуется создание и применение собственной модели (далее именуется как XceptionS) с использованием предобученной на соревновании ImageNet сети **Xception** [7]. Был использован метод подраздела машинного обучения **Transfer Learning** – исследовательская проблема, сосредоточенная на хранении «знаний», полученных при решении другой задачи, и применении данных «знаний» к новой задаче. Таким образом, появляется возможность на основе выученных признаков *предобученной нейронной сети* применить ее набор «знаний» для обучения другой нейронной сети. Существует два метода **Transfer Learning**:

- feature extraction – метод выделения признаков; данный способ заключается в использовании сверточной основы архитектуры, которая

остаётся неизменной и дополняется полносвязными слоями для решения текущей задачи;

– fine Tuning – метод, представляющий собой использование последних слоев предтренированной нейронной сети и их дообучение с корректированными параметрами.

Был выбран второй метод, т.к. задача обнаружения дефектов на сталепрокатных листах существенно отличается от набора данных с соревнования «Imagenet». Поэтому потребуется изменить последние слои предтренированной сети и дополнить их собственными слоями для предсказания корректного количества меток класса. С повышением количества изменяемых слоев дообучения предтренированной сети повышается риск переобучения модели (overfitting), соответственно, рекомендуется использование небольшого количества слоев. Для решения данной задачи необходимы следующие шаги:

1. преобработать данные;
2. загрузить модель Xception и веса;
3. заморозить слои обученной сети;
4. создать пайплайн обучения, инференс пайплайн;
5. обучить модели;
6. произвести оценку результата.

Нейронная сеть Xception состоит из 71 слоя, превосходит популярные модели VGGNet [4], ResNet [3], Inception-v3, и была впервые опубликована в 2016 году Франсуа Шолле. Обычный свёрточный слой применяется ко всем каналам изображения сразу и одновременно обрабатывает корреляцию соседних точек внутри одного канала изображения и межканальную информацию. Отличительной особенностью сети является внедренный модуль известный как depthwise separable convolution или SeparableConv. На рисунке 2.14 представлена архитектура модели Xception, на модели явно отображено применение SeparableConv на каждом из основных участков архитектуры (*Entry flow, Middle flow, Exit flow*) [7].

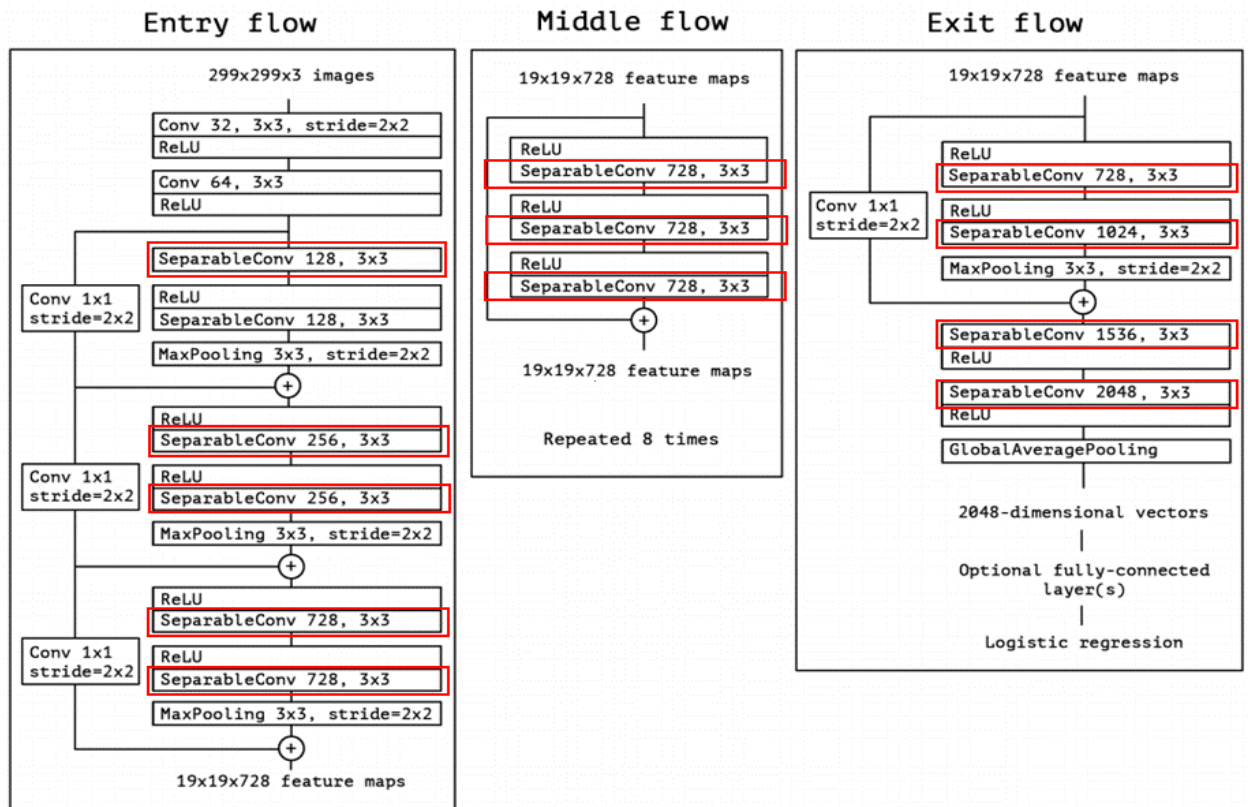


Рисунок 2.14 – Архитектура Xception

Основа архитектуры Xception состоит на последовательной обработке данных видов информации без потери качества. Сверточный слой раскладывается на *pointwise convolution* для обработки межканальной корреляции и *spatial convolution* для обработки пространственной корреляции, что существенно сокращает количество обучаемых весов и, соответственно, снижает нагрузку на вычислительную мощность [7].

Далее рассмотрено применение выше указанных архитектур и описание полученных результатов.

2.4 Реализация обучения моделей искусственного интеллекта в рамках задачи детектирования дефектов

2.4.1 Применение нейронной сети U-NET

На первом этапе построения архитектуры был написан код для реализации вышеописанной архитектуры искусственной нейронной сети,

частично представленный на рисунке 2.15. Использована открытая программная библиотека для машинного обучения TensorFlow.

```
[22]: def build_model(input_shape):
      inputs = Input(input_shape)

      c1 = Conv2D(8, (3, 3), activation='relu', padding='same')(inputs)
      c1 = Conv2D(8, (3, 3), activation='relu', padding='same')(c1)
      p1 = MaxPooling2D((2, 2))(c1)

      c2 = Conv2D(16, (3, 3), activation='relu', padding='same')(p1)
      c2 = Conv2D(16, (3, 3), activation='relu', padding='same')(c2)
      p2 = MaxPooling2D((2, 2))(c2)

      c3 = Conv2D(32, (3, 3), activation='relu', padding='same')(p2)
      c3 = Conv2D(32, (3, 3), activation='relu', padding='same')(c3)
      p3 = MaxPooling2D((2, 2))(c3)

      c4 = Conv2D(64, (3, 3), activation='relu', padding='same')(p3)
      c4 = Conv2D(64, (3, 3), activation='relu', padding='same')(c4)
      p4 = MaxPooling2D(pool_size=(2, 2))(c4)

      c5 = Conv2D(64, (3, 3), activation='relu', padding='same')(p4)
      c5 = Conv2D(64, (3, 3), activation='relu', padding='same')(c5)
      p5 = MaxPooling2D(pool_size=(2, 2))(c5)

      c55 = Conv2D(128, (3, 3), activation='relu', padding='same')(p5)
      c55 = Conv2D(128, (3, 3), activation='relu', padding='same')(c55)

      u6 = Conv2DTranspose(64, (2, 2), strides=(2, 2), padding='same')(c55)
      u6 = concatenate([u6, c5])# проборс сети
      c6 = Conv2D(64, (3, 3), activation='relu', padding='same')(u6)
      c6 = Conv2D(64, (3, 3), activation='relu', padding='same')(c6)
```

Рисунок 2.15 – Создание архитектуры Unet на языке python

Обучение

Нейронная сеть обучалась около полутора часов, на рисунке 2.16 представлен скриншот с результатов обучения. Результаты обучения превзошли лишь чуть больше половины метрики “dice coefficient”.

```
Epoch 00005: val_dice_coef did not improve from 0.27589
Epoch 6/10
667/667 [=====] - 526s 789ms/step - loss: 0.5251 - dice_coef: 0.5162 - val_loss: 0.5340 - val_dice_coef: 0.5
039

Epoch 00006: val_dice_coef did not improve from 0.27589
Epoch 7/10
667/667 [=====] - 530s 794ms/step - loss: 0.5145 - dice_coef: 0.5261 - val_loss: 0.5330 - val_dice_coef: 0.5
059

Epoch 00007: val_dice_coef did not improve from 0.27589
Epoch 8/10
667/667 [=====] - 543s 814ms/step - loss: 0.5060 - dice_coef: 0.5338 - val_loss: 0.5532 - val_dice_coef: 0.4
847

Epoch 00008: val_dice_coef did not improve from 0.27589
Epoch 9/10
667/667 [=====] - 531s 796ms/step - loss: 0.5019 - dice_coef: 0.5379 - val_loss: 0.5337 - val_dice_coef: 0.5
053

Epoch 00009: val_dice_coef did not improve from 0.27589
Epoch 10/10
667/667 [=====] - 526s 789ms/step - loss: 0.4950 - dice_coef: 0.5440 - val_loss: 0.5225 - val_dice_coef: 0.5
144
```

Рисунок 2.16 – Скриншот результатов обучения

Использованная метрика сходства представлена следующей формулой:

$$\frac{2|X \cap Y|}{|X| + |Y|}, \quad (1)$$

где X, Y – сравниваемые объекты (множества признаков).

Данный коэффициент измеряет сходство между наборами X и Y . Если два набора идентичны (т.е. содержат одинаковые элементы), коэффициент равен 1,0, а если X и Y не имеют общих элементов, он равен 0,0. Данная метрика схожа с мерой Сёренсена — бинарной мерой сходства. Если сравнивается встречаемость видов (вероятностная интерпретация), то есть учитываются вероятности встреч признаков, то аналогом меры Сёренсена будет симметричная мера Дайса (*coincidence index*), предложенная Л.Дайсом в 1945 году [2]. Поэтому данную меру часто называют индексом Дайса-Брея. Также для оценки качества была использована мера точности *accuracy* для дальнейшего сравнения моделей, данная мера качества представляет собой соотношение:

$$Accuracy = \frac{P}{N}, \quad (2)$$

где P – количество верных предсказаний классификатора;

N – размер выборки.

Итоги построения и оценка модели

На рисунке 2.17 представлены графики изменения функционала ошибки и метрики качества модели Unet.

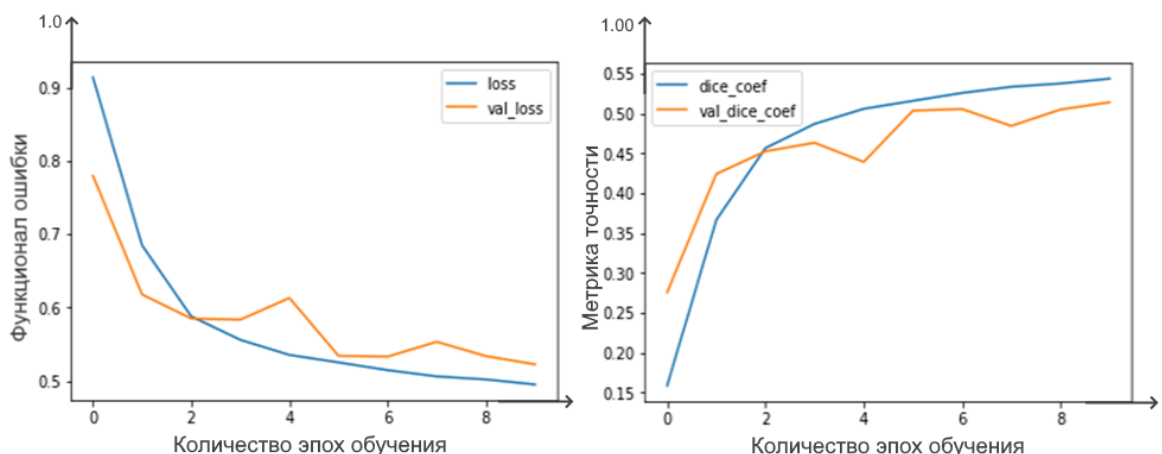


Рисунок 2.17 – Функционал ошибки и метрики качества

Далее были созданы предсказания для тестовой выборки, на рисунках 2.18-2.20 представлены результаты для 3-х изображений, где первые два изображения содержат 3 класс дефектов, но последнее их не имеет.

```
Класс изображения 0000f269f.jpg : 3
Класс изображения 003c5da97.jpg : 3
Изображение 000sss2ac.jpg без дефектов
```

Рисунок 2.18 – Рассматриваемые изображения из тестовой выборки

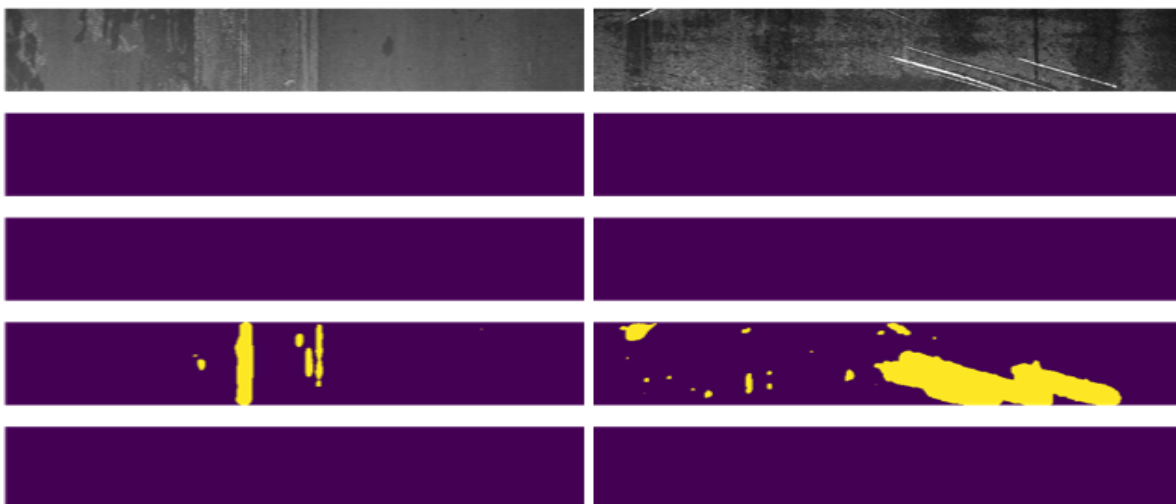


Рисунок 2.19 – Результат предсказаний тестовых изображений



Рисунок 2.20 – Результат предсказаний тестовых изображений

Классификация и сегментация отображают верные метки классов и маску для детектирования данного дефекта, тем не менее, качество модели

близится к 50 %, что не выглядит достоверным и успешным результатом в условиях производства. Далее рассмотрен процесс обучения модели *DenseNET*.

2.4.2 Применение нейронной сети DenseNET

Построение архитектуры

Был написан код для реализации вышеописанной архитектуры искусственной нейронной сети, частично представленный на рисунке 2.21. Веса для модели были загружены, то есть модель была частично предобучена на распознавание границ и образов для ускорения процесса обучения. Слои модели не были заморожены, применен метод *feature extraction* для использования карты признаков нейронной сети с дополняющими слоями применительно к текущей задаче.

```
def build_model():
    densenet = DenseNet121(
        include_top=False,
        input_shape=(256, 256, 3),
        weights='../input/densenet-keras/DenseNet-BC-121-32-no-top.h5'
    )

    model = Sequential()
    model.add(densenet)
    model.add(layers.GlobalAveragePooling2D())
    model.add(layers.BatchNormalization())
    model.add(layers.Dropout(0.5))
    model.add(layers.Dense(512, activation='relu'))
    model.add(layers.BatchNormalization())
    model.add(layers.Dropout(0.5))
    model.add(layers.Dense(1, activation='sigmoid'))
```

Рисунок 2.21 – Реализация модели DenseNet на языке python

Для функции потерь была использована категориальная кросс-энтропия, которая измеряет расхождение между вероятностными распределениями наблюдаемых классов и представлена следующей формулой:

$$CE = -\frac{1}{q} \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^l y_{ij} \log a_{ij}, \quad (3)$$

где q – число элементов в выборке;

l – число классов;

a_{ij} – ответ алгоритма на i -м объекте на вопрос принадлежности его к j -му классу.

Тогда $y_{ij}=1$, если i -й объект принадлежит j -му классу, в обратном случае $y_{ij}=0$ [3]. Если кросс-энтропия велика, это означает, что разница между двумя распределениями велика, а если кросс-энтропия мала, то распределения похожи друг на друга. Для оценки качества была использована мера точности *accuracy*.

Обучение

Нейронная сеть обучалась более полутора часов, на рисунке 2.22 представлен скриншот с результатов обучения. Результаты обучения превзошли лишь 90 % точности на тренировочных данных и валидационных (с 18-ой эпохи обучения), эффекта переобучения не наблюдается.

```
Epoch 00015: val_acc did not improve from 0.86472
Epoch 16/20
334/333 [=====] - 231s 692ms/step - loss: 0.2272 - acc: 0.9067 - val_loss: 1.2007 - val_acc: 0.6875

Epoch 00016: val_acc did not improve from 0.86472

Epoch 00016: ReduceLROnPlateau reducing learning rate to 0.00020000000949949026.
Epoch 17/20
334/333 [=====] - 229s 685ms/step - loss: 0.1919 - acc: 0.9230 - val_loss: 0.3333 - val_acc: 0.8653

Epoch 00017: val_acc improved from 0.86472 to 0.86525, saving model to model.h5
Epoch 18/20
334/333 [=====] - 232s 693ms/step - loss: 0.1665 - acc: 0.9356 - val_loss: 0.1922 - val_acc: 0.9215

Epoch 00018: val_acc improved from 0.86525 to 0.92149, saving model to model.h5
Epoch 19/20
334/333 [=====] - 233s 697ms/step - loss: 0.1593 - acc: 0.9390 - val_loss: 2.9989 - val_acc: 0.5459

Epoch 00019: val_acc did not improve from 0.92149
Epoch 20/20
334/333 [=====] - 231s 690ms/step - loss: 0.1637 - acc: 0.9356 - val_loss: 0.1374 - val_acc: 0.9507

Epoch 00020: val_acc improved from 0.92149 to 0.95066, saving model to model.h5
```

Рисунок 2.22 – Результаты обучения

Итоги построения и оценка модели

На рисунке 2.23 представлены графики изменения функционала ошибки и метрики качества, которые отражают результаты обучения в течение 20-ти эпох. Видим, что постепенно снижается значение ошибки как на тренировочных данных, так и на валидационных. При валидации заметны участки с высоким уровнем “пиков” на графике изменения результата функционала ошибки.

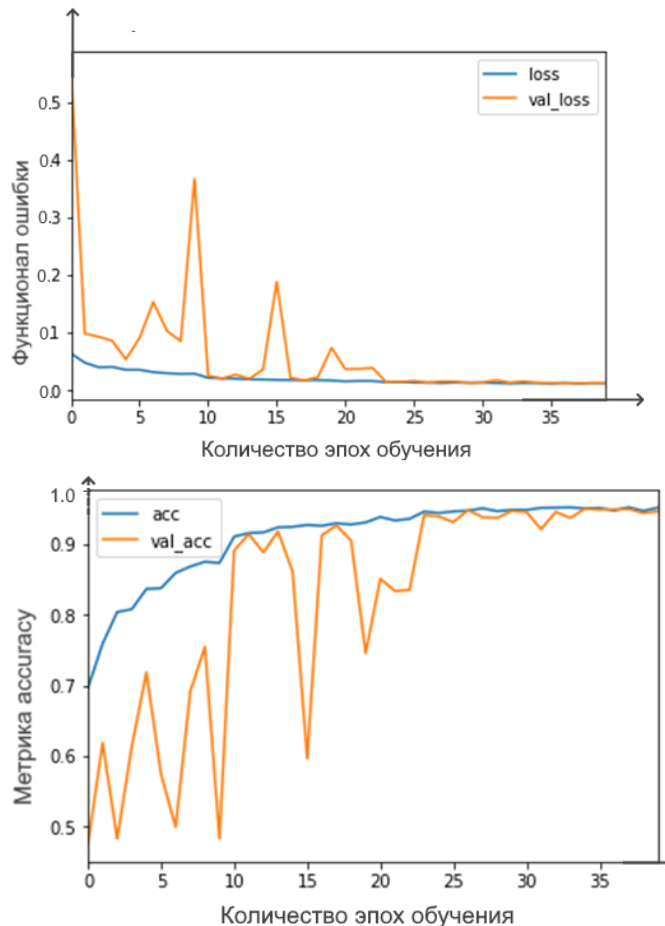


Рисунок 2.23 – Функционалы ошибки и метрики качества

Сеть не отличается скоростью производительности, но вместе с тем показывает высокую точность как на тренировочных данных, так и на валидации. При этом стоит отметить высокие всплески в динамике результатов до 25-й эпохи, после достаточного времени обучения данные отклонения были минимизированы, далее сведены к нулю, что может быть началом процесса переобучения. Оптимальным количеством итераций является 23-25 эпох.

2.4.3 Применение XceptionX

Построение архитектуры

Был написан код для реализации архитектуры искусственной нейронной сети с применением предобученной модели Xception. Сначала были загружены Xception и веса. Последние слои модели были «заморожены», чтобы сверточная сеть содержала то количество выходов, которое бы соответствовало количеству классов в новом наборе, т.е. 4 классам дефектов [4]. Далее была определена модель Sequential для инициализации последовательности новых слоев дообучения с функцией активации softmax. На рисунке 2.24 представлено описание сети, ее архитектура приведена в приложении А.

```
# Model Summary, описание
model.summary()
```

Layer (type)	Output Shape	Param #
xception (Model)	(None, 4, 4, 2048)	20861480
dropout_4 (Dropout)	(None, 4, 4, 2048)	0
flatten_2 (Flatten)	(None, 32768)	0
dense_3 (Dense)	(None, 256)	8388864
dropout_5 (Dropout)	(None, 256)	0
dense_4 (Dense)	(None, 128)	32896
dropout_6 (Dropout)	(None, 128)	0
dense_5 (Dense)	(None, 256)	33024
dense_6 (Dense)	(None, 4)	1028
Total params: 29,317,292		
Trainable params: 11,622,532		
Non-trainable params: 17,694,760		

Рисунок 2.24 – Описание модели XceptionX

В качестве исследования были использованы полносвязные слои для увеличения количества параметров обучения в виду высокой степени различия задач, а также для отслеживания влияния на скорость обучения сети.

Обучение и оценка модели

Нейронная сеть обучалась 13 минут, на рисунке 2.25 представлен скриншот с результатов обучения по метрикам *accuracy*, *AUC*. Результаты обучения превысили 96 % точности на тренировочных данных и 90 % валидационных (с 5-ой эпохи обучения).

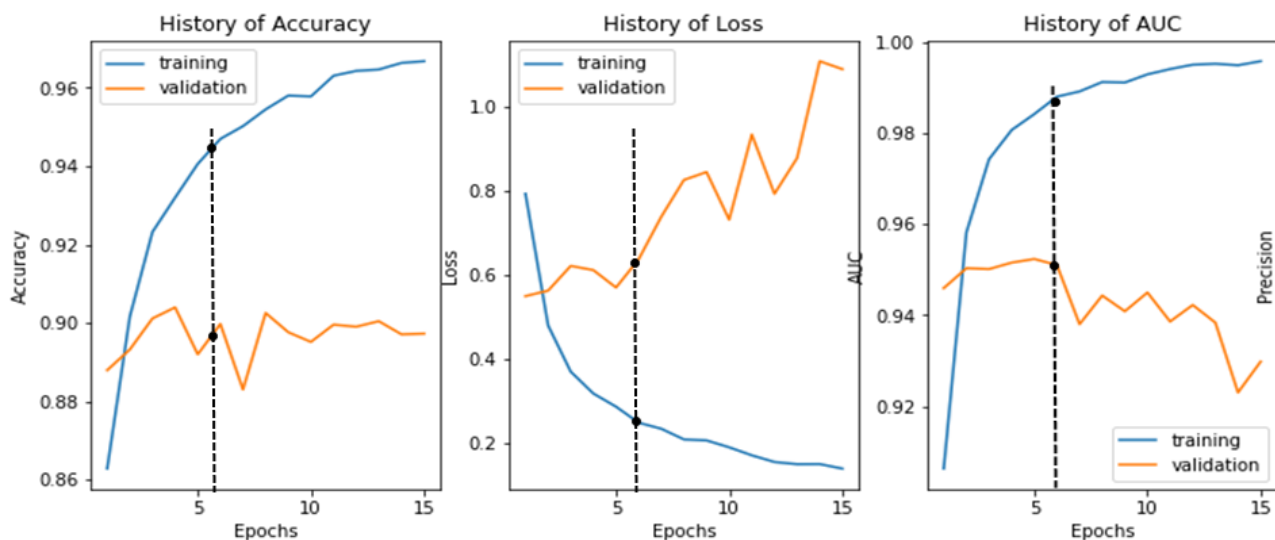


Рисунок 2.25 – Результаты обучения XceptionX

Важно отметить, что наблюдается эффект переобучения, начиная с 6-ой эпохи: метрика точности на валидационных данных изменяется лишь в пределах случайных отклонений, при этом качество на тренировочных данных растет, но ошибка на валидации увеличивается. Метрика *AUC* демонстрирует «степень уверенности» модели в предсказанных классах: для валидации данный показатель падает с течением обучения [6], что также подтверждает наличие переобучения. Чтобы нивелировать данный эффект в последующих исследованиях необходимо применить дополнительные методы оптимизации, например, *аугментацию* данных [5]. Для дальнейшего использования сети были загружены веса 5-й эпохи обучения, т.к. это является наиболее оптимальным выбором относительно полученных выше результатов.

2.4.4 Сравнение моделей искусственного интеллекта

Результатом работы каждой из моделей является csv файл с закодированными последовательностями пикселей (маски) и предсказанными

классами дефектов. Для оценки примененных моделей составлена сводная таблица 5, были подобраны признаки для оценивания по 5 бальной шкале. Учитываются следующие пять факторов:

- программируемость. Насколько компоненты архитектуры доступны для повторной инициализации и изменений внутри скрипта.
- объем знаний. Объем знаний и справочной информации, относящиеся к архитектуре модели. Насколько доступны литературные источники для изучения и применения сети.
- точность на обучении. Результаты метрики оценивания модели во время ее обучения на тренировочном датасете.
- точность на валидации. Результаты метрики оценивания модели во время ее обучения на валидационном датасете.
- скорость обучения и предсказания. Насколько быстро модель способна обрабатывать изображение и предсказывать маску и метку класса.

Таблица 5 – Оценивание архитектур нейронных сетей

Факторы\ Модель	Программи- руемость	Объем знаний	Точность на обучении, %	Точность на валидации, %	Скорость	Итог
Unet	2.00	5.00	1.00 (58%)	1.00 (52%)	0.00	1.00
DenseNet	4.00	2.00	5.00 (94%)	5.00 (93%)	2.00	3.90
XceptionX	5.00	3.00	5.00 (96%)	4.00 (91%)	5.00	4.50
Вес (/1)	0.20	0.05	0.10	0.40	0.25	1.00

Итог был рассчитан по формуле 3:

$$K = \sum_{i=1}^n k_i b_i, \quad (3)$$

где K – итоговая оценка;

n – количество факторов (5);

k – i -ая оценка;

b – i -ый вес оценки.

Таким образом, примененная модель Xception с дообучением опережает остальные сети по вышеуказанным факторам. Стоит отметить, что при сравнительно схожей величине метрики *accuracy* модель XceptionX прошла процесс обучения в практически 16 раз быстрее, что является вторым по важности фактором для использования модели ИИ на производстве конвейерного типа.

Для работы с моделью DL оператору необходимо взаимодействовать через интерфейс, что существенно повысит удобство использования системы детектирования и снизит затрачиваемые трудовые ресурсы пользователя. Далее приведено описание процесса разработки приложения.

2.5 Разработка графического интерфейса системы

Был реализован графический интерфейс для взаимодействия с моделью ИИ при помощи прикладной программы с дополнительными функциональными возможностями, описание разработки приведено далее.

2.5.1 Описание структуры графического интерфейса системы

В данной работе для создания первой версии графического интерфейса были выбраны библиотека PyQt5 и программа Qt Designer [8]. PyQt представляет из себя набор расширений графического фреймворка Qt, выполнен в виде расширения языка программирования python. Qt Designer является программным обеспечением для редактирования графического интерфейса пользователя, которая генерирует python код из файлов ui, что делает PyQt полезным и качественным инструментом для быстрого прототипирования.

MainWindow. Разработка главного окна в среде Qt Designer представлена на рисунке 2.26. При помощи встроенных виджетов были размещены необходимые объекты для работы с системой. Далее представлено описание экранных форм и кнопок, а также их назначение на главном окне:

- форма 1 необходима для отображения фотографий сталепрокатных листов, детектированных дефектов и обнаруженных классов дефектов. Имеется возможность запустить, остановить, перезапустить процесс детектирования или очистить экранную форму ниже. Реализовано взаимодействие с базой данных в виде флаговой кнопки (checkbox), которая позволяет включить/отключить архивирование информации.
- форма №2 содержит кнопки для перехода к построению тренда обнаружения дефектов на сталепрокатных листах в режиме реального времени, также имеется возможность выгрузить информацию из базы данных и сохранить текущий снимок с детектированными дефектами на локальный компьютер пользователя.
- в форме 3 главного окна расположены кнопки для перехода к описанию данных, системы и используемой модели искусственного интеллекта. В дальнейшем планируется разработать опцию для выбора параметров обучения модели искусственного интеллекта с возможностью изменения ее архитектуры специалистом в рамках данного интерфейса.

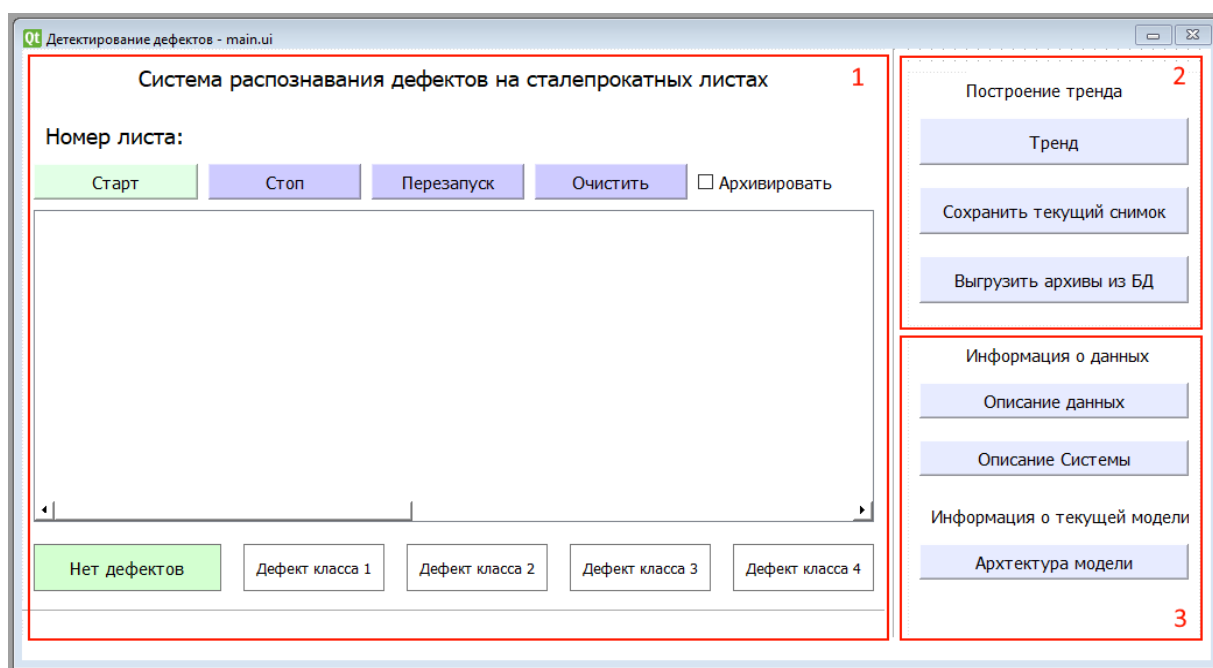


Рисунок 2.26 – Главное окно интерфейса

В результате после конвертации ‘.ui’ файла в файл с расширением ‘.py’ и доработки на языке программирования python интерфейс главного окна может быть запущен с рабочего стола Windows, интерфейс отображен на рисунке 2.27.

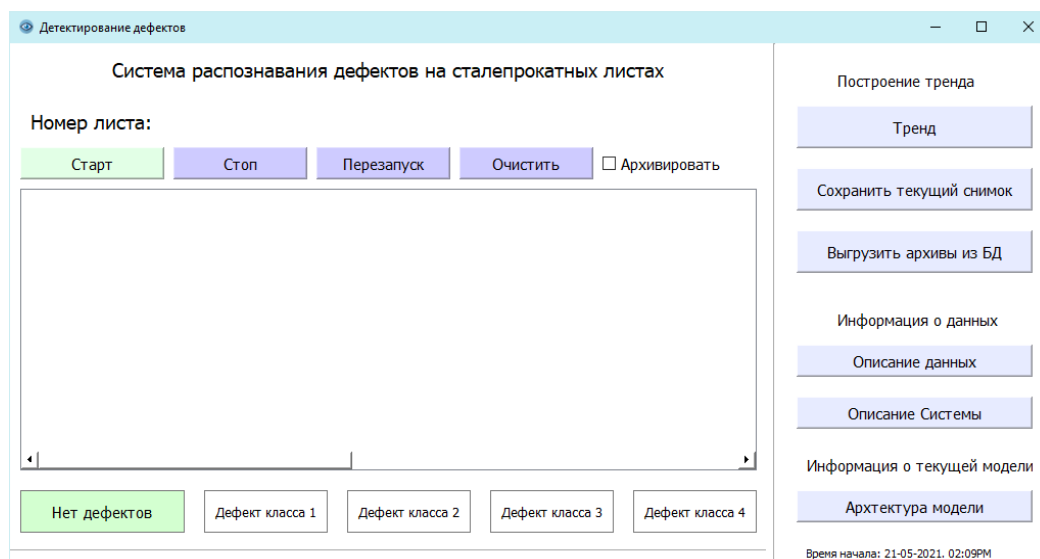


Рисунок 2.27 – Главное окно после запуска приложения

На рисунке 2.28 приведен код, дополняющий функционал главного окна, применяется объектно-ориентированный подход, позволяющий разделить визуальное представление и логику программы. Используются изученные ранее принципы построения программ на основе парадигмы ООП: наследование, инкапсуляция и полиморфизм. Для каждой кнопки *PushButton* был написан собственный метод внутри класса *Main*; вызов метода происходит событично - по нажатию левой кнопкой мыши. Управление сменой снимком сталепрокатных листов происходит при помощи встроенного объекта «*QTimer*», который по истечении заданного промежутка времени (5 секунд) посылает сигнал *timeout()* [9]. Данное срабатывание сигнала вызывает написанный метод *onTimeout*, который управляет процессом обновления программы.

```

from PyQt5 import QtCore, QtWidgets
import pyqtgraph as pg
import numpy as np
from time import sleep
from describe_trend import Descr_trend_window

class Main(QtWidgets.QMainWindow):
    def __init__(self):
        super(Main, self).__init__()
        self.ui = Ui_MainWindow()
        self.ui.setupUi(self)
        self.current_datetime = datetime.now()
        self.ui.label_2.setText('Время начала: ' + str(self.current_datetime.str

        self.train_df = pd.read_csv("input/train.csv")
        self.train_df = pd.DataFrame(self.train_df)
        self.list_pic = list(self.train_df.ImageId.unique())

        self.max= len(self.list_pic)

```

Рисунок 2.28 – Скрипт main на языке python

На рисунке 2.29 приведен результат работы: обнаружение дефектов начинается после нажатия на кнопку «Старт», происходит смена снимков с детектированными дефектами (маска построена поверх изображения во время обработки программы), снизу отображаются индикаторы, которые сигнализируют оператору о повреждениях на сталепрокатных листах.

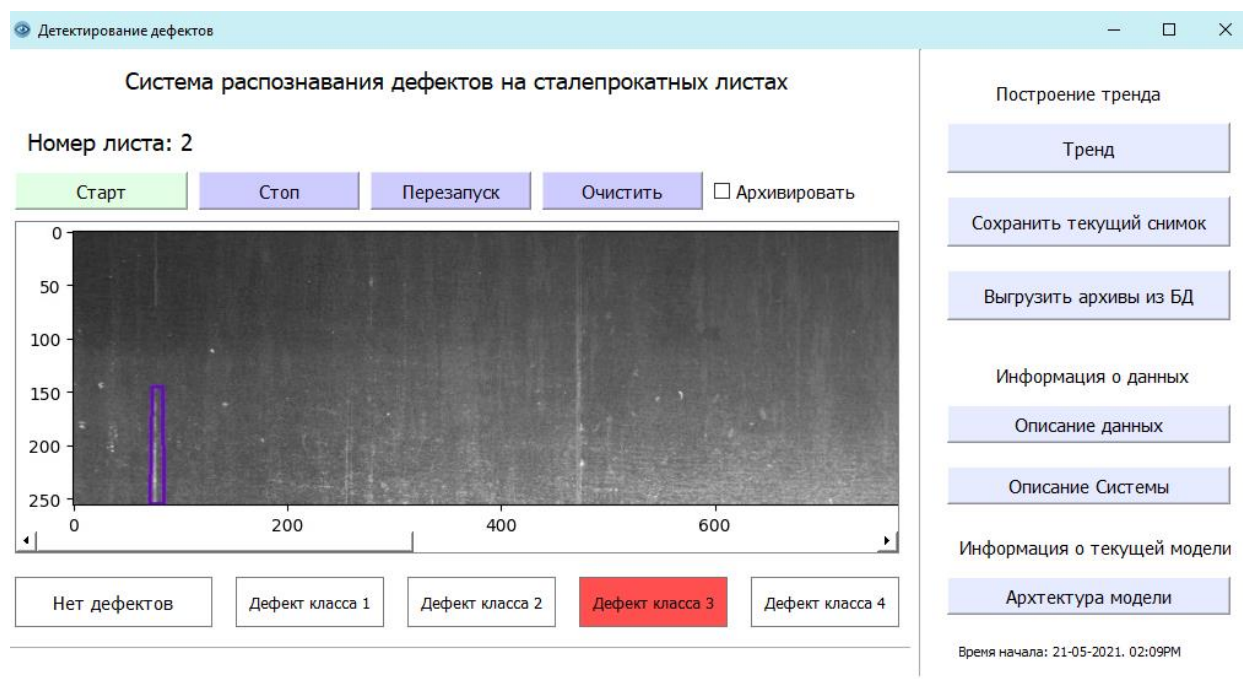


Рисунок 2.29 – Обнаруженные дефекты в приложении

Результат: данные в виде снимков сталепрокатных листов поступают на вход модели искусственного интеллекта; модель возвращает метку класса и закодированную маску; внутри разработанного интерфейса снимок и закодированная маска отображаются в левой части окна, внизу срабатывает сигнализация при обнаружении дефектов. Также существует возможность архивации полученных от модели ИИ данных.

Реализация записи об обнаруженных дефектах подробнее рассмотрена далее в подразделе «Архивирование данных в MySQL».

Форма № 2 для отображения производственного процесса содержит 2 кнопки: «Тренд», «Сохранить текущий снимок». Последняя кнопка позволяет сохранить снимок сталепрокатного листа с маской в формате *.png*, на рисунке 2.30 представлен результат работы.



Рисунок 2.30 – Сохранение детектированных дефектов

Интерфейс окна для отображения тренда представлен на рисунке 2.31.



Рисунок 2.31 – Интерфейс окна для отображения тренда

Данное окно отображает информацию об обнаруженных дефектах в режиме реального времени: существует тренд (левая область); реализована возможность сохранения полученных данных в файлы с расширением *.png* и *.csv* для дальнейшего формирования отчетных документов. Тренд и табличные данные обновляются синхронизировано с информацией, отображаемом в главном окне программы; после завершения сессии работы информация в тренде и таблице не сохраняется/резервируется в виду функционального назначения.

На рисунке 2.32 представлен результат работы после запуска процесса обнаружения дефектов. Слева представлен тренд, на оси *x* расположен порядковый номер сталепрокатного листа, на оси *y* отображены найденные дефекты. Справа представлено табличное отображение информации с возможностью сохранения на локальный компьютер оператора. Сохранение в таблицу необходимо с практической точки зрения: в дальнейшем есть возможность построить статистическую информацию по обнаруженным объектам и/или выбрать определенный отрезок времени наблюдения (по колонке «Дата») для анализа качества производственного процесса.

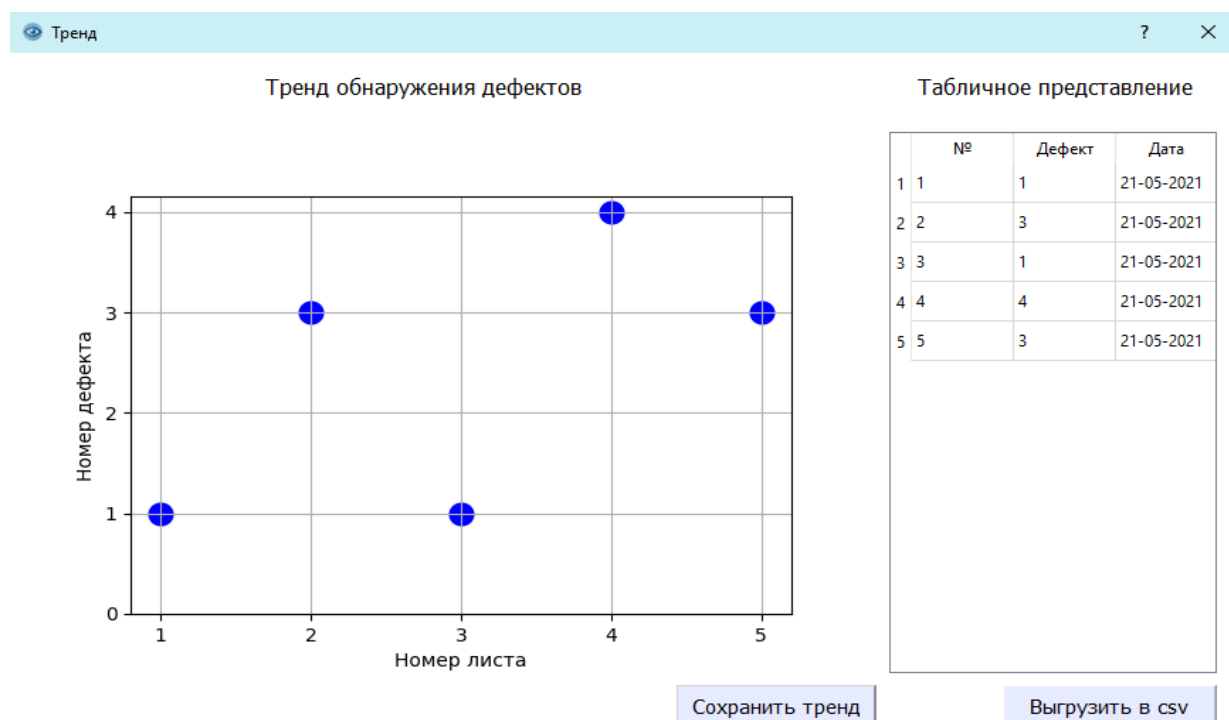


Рисунок 2.32 – Отображение тренда обнаруженных дефектов

Результат: реализованы следующие опции для взаимодействия с результатами обнаружения дефектов моделью ИИ:

- выгрузка снимка с детектированным дефектом;
- построение и сохранение тренда обнаруженных неисправностей;
- выгрузка в формате .csv и отображение результатов в табличном виде.

3. Экранная форма № 3 служит для представления общей информации о системе и ее отдельных компонентах; далее представлено описание каждой из кнопок:

- диалоговое окно «Описание данных». Представлена информация о тренировочных данных модели, статистическая информация по выборке и столбчатая диаграмма, отображающая количество снимков в зависимости от классов дефектов (рисунок 2.33).

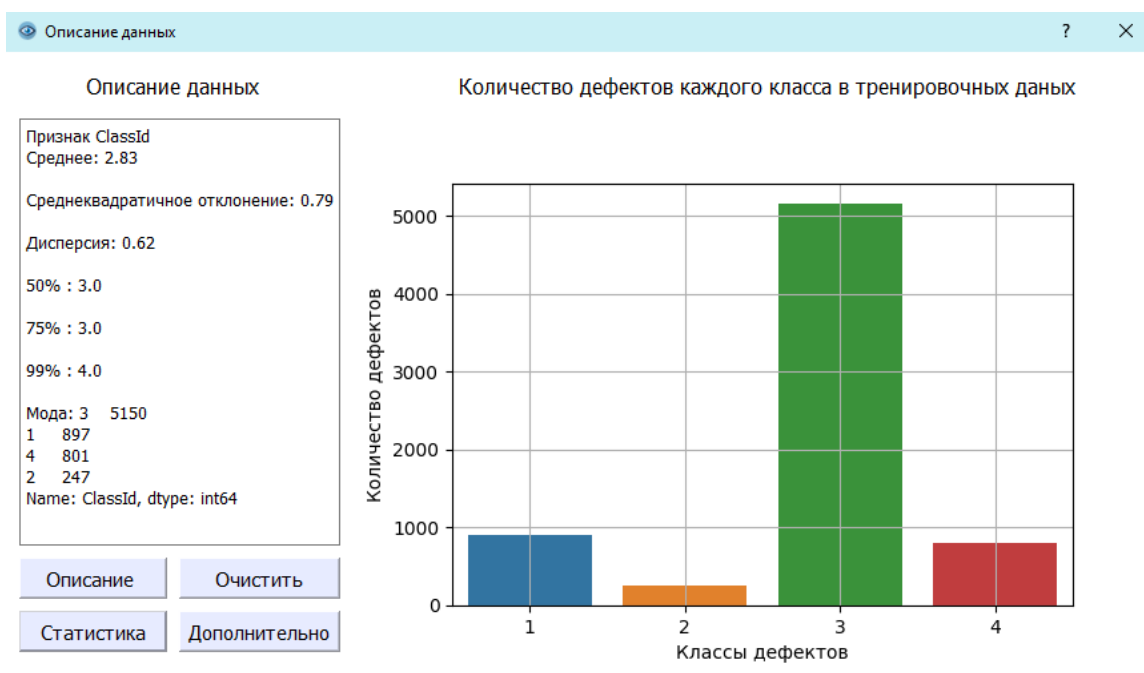


Рисунок 2.33 – Описание данных в интерфейсе

- диалоговое окно «Описание системы». В данной экранной форме представлена информация о самой разработанной системе с возможностью переключения от «Составных частей АСУ ТП» до расширенного описания системы автоматизации с применением ТКЗ, представлено на рисунке 2.34.

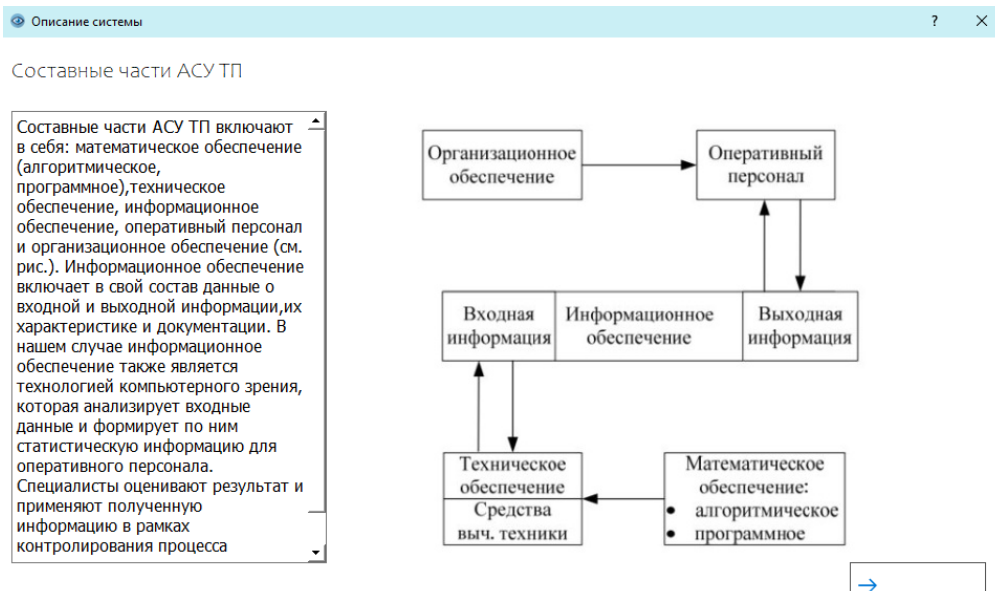


Рисунок 2.34 – Описание системы в интерфейсе

– диалоговое окно «Описание модели». Описание архитектуры модели также необходимо для общего понимания работы модели DL оператором, на рисунке 2.35 представлен вид интерфейса, в качестве примера описывается модель «DenseNet».

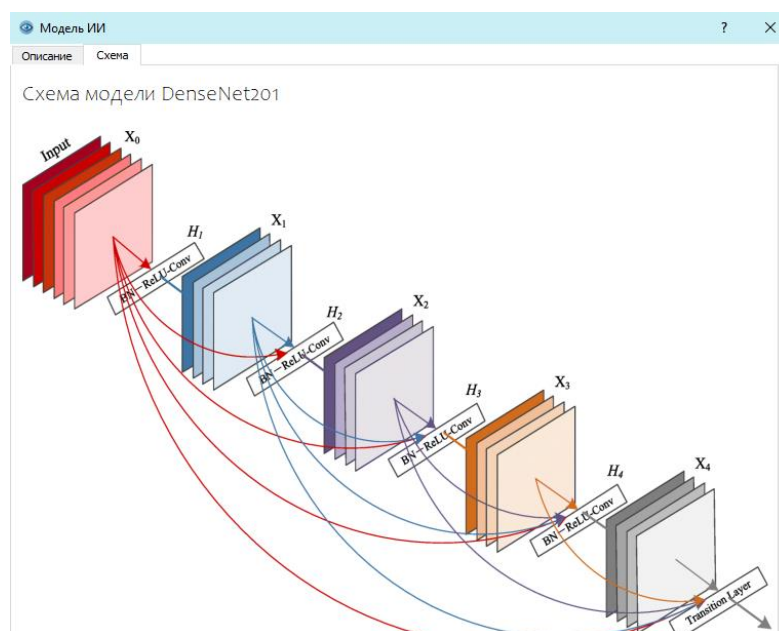


Рисунок 2.35 – Описание модели в интерфейсе

Результат: реализована опция информирования специалиста о данной системе и ее компонентах. Данный фрейм в дальнейшем может быть вынесен в отдельную обучающую персонал программу для взаимодействия с системой.

Архивирование данных в MySQL

Во время производственного процесса могут происходить несвоевременные отказы, приводящие к утрате результатов, данных во время работы оператора. Во избежание данных потерей необходимо использование автоматического сохранения информации на серверах организации для возможности их восстановления, в связи с чем на фреймах 1 и 2, что отображено на рисунке 2.36, были реализованы компоненты для работы с базой данных.

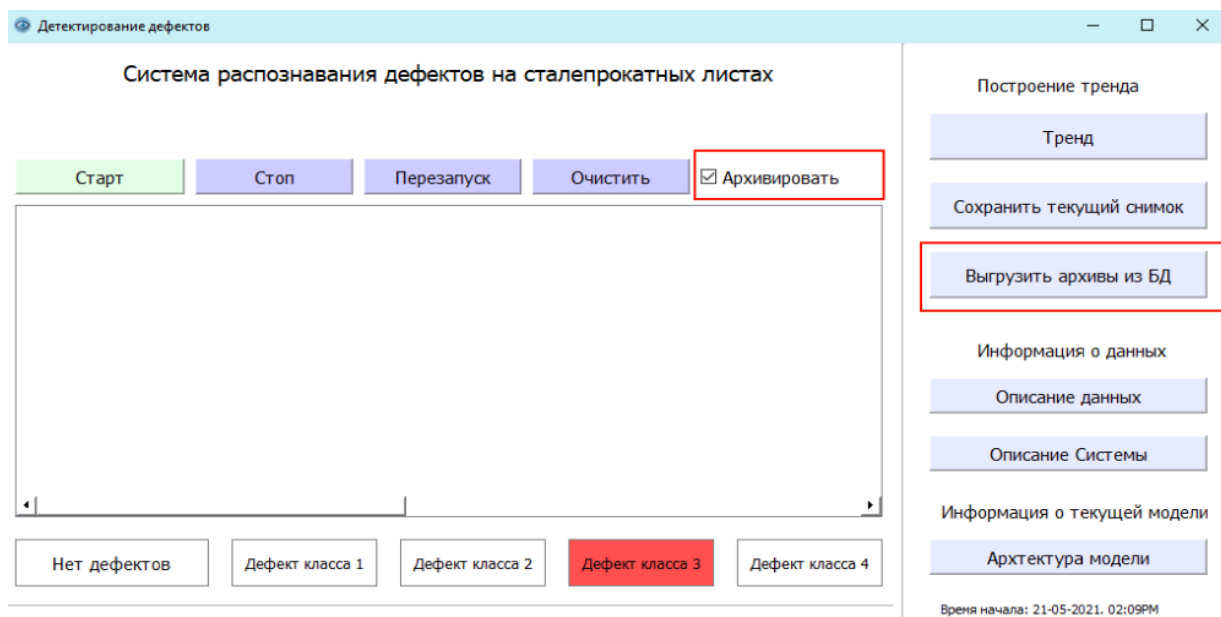


Рисунок 2.36 – Компоненты использования БД в интерфейсе

Была выбрана ранее представленная система управления базами данных (СУБД) *MySQL*, из преимуществ которой можно выделить следующее:

- простота использования;
- масштабируемость;
- производительность;
- широкое сообщество разработчиков.

После процесса установки официального дистрибутива была создана база данных *defects* и схема *detection* (рисунок 2.37).

```
mysql> use defects;
Database changed
mysql> describe detection;
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Field | Type   | Null | Key | Default | Extra          |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| id    | int(11)| NO   | PRI | NULL    | auto_increment|
| list  | int(11)| YES  |     | NULL    |                |
| class | int(11)| YES  |     | NULL    |                |
| date  | date   | YES  |     | NULL    |                |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
4 rows in set (0.24 sec)
```

Рисунок 2.37 – Компоненты использования БД в интерфейсе

Таблица *detection* (как видно выше) содержит в себе:

- *id* – идентификатор записи;
- *list* – номер сталепрокатного листа;
- *class* – класс обнаруженного дефекта;
- *date* – дата загрузки.

Во время производственного процесса специалист может отметить флаг «Архивировать» для того, чтобы записать данные текущей сессии в БД. С помощью кнопки «Выгрузить архивы из БД» имеется возможность скачать в формате *.csv* все записи таблицы. На рисунке 2.38 представлен фрагмент кода: при помощи языка программирования структурированных запросов *SQL* выбираются данные из таблицы *detection* по вызову метода *save_from_DB* (вызов происходит событийно – по нажатию на кнопку).

```
def save_from_DB(self):
    sqlEngine = create_engine('mysql+pymysql://root:ksenia
    dbConnection= sqlEngine.connect()
    select_defects = "SELECT * from detection"

    defects_db = pd.read_sql(select_defects, dbConnection)
    defects_db = pd.DataFrame(defects_db)
    dbConnection.close()
```

Рисунок 2.38 – Компоненты использования БД в интерфейсе

На рисунке 2.39 представлен выгруженный файл из базы данных в расширении *.csv*.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	id,list,class,date								
2	1,1,1,2021-05-20								
3	2,2,3,2021-05-20								
4	3,3,1,2021-05-20								
5	4,4,4,2021-05-20								
6	5,5,3,2021-05-20								
7	6,6,4,2021-05-20								

Рисунок 2.39 – Выгруженные файлы после архивирования

На рисунке выше видим, что сохранились все атрибуты таблицы *detection*, самая ранняя дата выгрузки – 20 мая 2021 года.

Результат: реализована опция работы с базой данных, следовательно, на реальном объекте автоматизации оператор имеет возможность сохранить результат на локальную базу данных организации, что позволяет использовать их в дальнейшем для контроля качества производственного процесса.

2.5.2 Оценивание разработанного интерфейса системы

Далее в таблице 6 приведен набор опции реализованного графического интерфейса с комментариями для обоснования их необходимости.

Таблица 6 – Перечень реализованных функций

№	Наименование	Пояснение	Расположение
1	Детектирование дефектов на снимках стали	На снимок наложена маска – предсказание местонахождения дефекта ограничивающим контуром	Форма 1, главное окно
2	Классификация	Обнаруженные дефекты разделены по классам, выделены цветом маски	Форма 1, главное окно
3	Сигнализация	Явный сигнал обнаруженного дефекта, реализовано под выводом снимков стали	Форма 1, главное окно
4	Тренд	Отображение тренда детектирования дефектов в режиме реального времени	Окно «Тренд»
5	Выгрузка текущих данных	Реализована функция выгрузки данных за последнюю сессию без сохранения в БД	Окно «Тренд»

Продолжение таблицы 6 – Перечень реализованных функций

№	Наименование	Пояснение	Расположение
6	Запись в архив БД	Архивирование данных в СУБД	Форма 1, главное окно
7	Выгрузка архивов	Выгрузка архивов из СУБД	Форма 2, главное окно
8	Информационное описание	Описание Системы, данных, модели ИИ	Форма 3, главное окно
9	Сохранение текущего снимка стали	Выгрузка текущего снимка стали с наложенной маской	Форма 2, главное окно
10	Демо-версия	Демо-версия реализована с возможностью использования модели на данных из файлов, не в режиме реального времени, что производит эффект симуляции конвейерного процесса	

В таблице 7 приводится описание возможных функциональных расширений для дальнейшей проработки созданного приложения.

Таблица 7 – Перечень возможных функциональных расширений

№	Наименование	Пояснение
1	Разделение ролей пользователей	Разделение ролей позволит разграничить доступ к базе данных и архивам, а также к дополнительным настройкам программы
2	Возможность выбора модели ИИ	Опция изменения модели ИИ из интерфейса приложения, а также ее параметров детектирования
3	Работа с данными из архивов	Возможность анализировать выгруженные файлы внутри приложения – строить графики, производить расчет статистики
4	Рекомендации по изменению параметров производственного процесса	На основе количества выявленных дефектов система «предлагает» возможное изменение параметров текущего производственного процесса.

Перечисленные выше возможные к внедрению опции позволят улучшить работу с Системой и масштабировать ее в дальнейшем на другие виды производств с локальными изменениями в архитектуре модели ИИ.

Из недостатков разработанной системы можно выделить следующее:

- низкая скорость выполнения программы ввиду реализации на языке *Python* (смена кадров составляет 5 с.);
- нет возможности оценивать видеопоток изображений, что может быть решено доработкой модели ИИ и архитектуры приложения.

Преимуществами разработанной системы являются:

- простота использования;
- возможность работы с БД;
- классификация, сегментация и детектирование дефектов;
- легкость масштабирования;
- кроссплатформенность приложения;
- наличие демо-версии;
- программируемость приложения и модели ИИ.

Указанные недостатки могут быть устранены при помощи дальнейших исследований системы и вложения трудозатрат в проектирования. Преимущества разработанного приложения позволяют уже сейчас наглядно оценить работу модели искусственного интеллекта в рамках задачи детектирования дефектов на сталепрокатных листах и работать в режиме симуляции производственного процесса (с загружаемыми данными из локального хранилища).

2.6 Выводы по разделу

В результате процесса разработки системы автоматизации определения дефектов на сталепрокатных листах были проанализированы исходные данные в рамках текущей задачи, была разработана модель искусственного интеллекта и был создан графический интерфейс. Вышеперечисленные этапы позволили создать систему, отвечающую заявленным в пункте 2.1 требованиям. Тем не менее, в ходе работы был реализован первый этап проектирования, т.к. в дальнейшем для внедрения на реальный объект

автоматизации Система требует изменения ее компонентов, дополнительных исследований архитектуры модели и ее доработки. На текущий момент функционал графического интерфейса предоставляет базовый набор для фиксации обнаруженных дефектов и контроля качества производственного процесса.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Задачи, поставленные в разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» это, прежде всего – анализ потенциальных денежных затрат и оценка рисков проекта. Необходимо произвести оценку научного исследования, обосновать требуемые инвестиции и получить приближенную оценку результатов развития данного инженерного решения. Решением выступает разрабатываемая система детектирования дефектов, основанная на математических алгоритмах глубокого обучения (Deep Learning) модели искусственного интеллекта.

3.1 Предпроектный анализ

3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

На данный момент Машинное обучение (*machine learning / ML*) и компьютерное зрение (*computer vision / CV*) находят все больше применений в решении задач из промышленной области. Начиная от задач нахождения бракованных деталей на конвейере и заканчивая управлением беспилотным транспортом — везде используются глубокие архитектуры, позволяющие детектировать многочисленные объекты разных категорий, предсказывать пространственное расположение объектов друг относительно друга и многое другое. В данной работе разрабатывается система автоматического детектирования дефектов на сталепрокатных листах с графическим интерфейсом для применения оператором на производстве.

Результаты данной работы могут быть использованы для дальнейших научных исследований полученных результатов детектирования дефектов и способах улучшения качества их обнаружения. Так же применение системы (модернизированной и улучшенной в ходе дальнейших исследований под запросы производства) может быть использовано отечественными компаниями, работающими в сфере металлургии.

3.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения.

Основными конкурентами разрабатываемой системы являются коммерческие компании, специализирующиеся на внедрении систем с использованием искусственного интеллекта: *Mallenom systems*, *CameraIQ*, Альбига. Подробное описание данных компаний и их решений представлено в пункте 1 настоящей работы. Далее под цифрой 1 рассматривается решение системы детектирования дефектов от *Mallenom systems*. Под цифрой 2 рассматривается научное решение от *CameraIQ* на базе программного обеспечения *MERLIC*. Под цифрой 3 представлены характеристики системы *IMPACT_OBJECT DETECTOR* компьютерного зрения от компании Альбига.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и был проведен с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 8. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 8, подбирались, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации. Основными критериями оценки материалов будут являться: удобство в эксплуатации, качество интеллектуального интерфейса, наличие демо-версии, функция

детектирования дефектов в системе, полный список критериев приведен в сравнительной таблице.

Таблица 8 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б ₁	Б ₂	Б ₃	К ₁	К ₂	К ₃
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Удобство в эксплуатации	0.15	5	4	3	0.75	0.60	0.45
Качество интеллектуального интерфейса	0.15	4	4	3	0.60	0.60	0.45
Наличие демо-версии	0.10	1	5	1	0.10	0.50	0.10
Функция детектирования дефектов в системе	0.20	5	3	2	1.00	0.60	0.40
Программируемость системы	0.15	3	5	5	0.45	0.75	0.75
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0.05	5	4	3	0.25	0.20	0.15
Послепродажное обслуживание	0.10	5	3	4	0.50	0.30	0.40
Наличие сертификации разработки	0.05	5	5	1	0.25	0.25	0.05
Обучение персонала	0.05	5	5	5	0.25	0.25	0.25
Итого	1.00	38	38	27	4.15	3.45	3.00

Позиция разработки и конкурентов оценивалась по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 –наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны были составлять 1. Анализ конкурентных технических решений определялся по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (4)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таким образом, значения конкурентоспособности рассматриваемых продуктов составляет следующее:

$$K1 = 4.15, K2 = 3.45, K3 = 3.00.$$

Основываясь на полученных знаниях о конкурентах, можно выделить, что уязвимыми факторами конкурентоспособности являются: наличие демо-версии (есть только в одной компании), наличие функции детектирования дефектов в модели искусственного интеллекта (в разработанном виде есть только у одной компании, у остальных – под заказ) и качество интеллектуального интерфейса. Обозначенные факторы могут дать конкурентное преимущество в ходе разработки системы, т.к. на данный момент не распространены в нише среди компаний.

Сильными сторонами конкурентов являются: программируемость системы (в наличие у всех компании, отличается возможностью расширения системы), наличие сертификации разработки, обучение персонала и послепродажное обслуживание. Данные качества не только увеличивают конкурентоспособность компаний, но и позволяют занять свою нишу в сфере разработки интеллектуальных систем детектирования для производств.

По результатам данного анализа можно сделать вывод, что на сегодняшний момент важными преимуществами для разработанной системы детектирования будут являться наличие демо-версии для знакомства с системой перед внедрением на производство, наличие уже существующей функции детектирования дефектов в модели искусственного интеллекта и качество интеллектуального интерфейса, что немаловажно для качественной эксплуатации продукта. Кроме того, желательно иметь сертификацию разработки, обучение персонала и послепродажное обслуживание, т.к. данные преимущества уже имеются в нише, и их наличие является ожидаемым для выбора компании потребителем.

3.1.3 SWOT–анализ

SWOT–Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно–исследовательского проекта [10]. Целью SWOT–анализа является определение всех сильных и слабых сторон научной

разработки, которые рассматриваются как внутренние факторы, а также изучение внешних факторов, каковыми являются рыночные возможности и угрозы, для получения четкого представления основных направлений развития предприятия. На основе такого исследования организация должна максимально использовать свои сильные стороны, попытаться преодолеть слабости, воспользоваться благоприятными возможностями и защититься от потенциальных угроз.

Сильные стороны проекта. Сильной стороной разрабатываемой системы являются: простота в эксплуатации (интуитивно понятный графический интерфейс приложения для оператора), наличие гибкой системы детектирования дефектов (модель сегментирует и классифицирует дефекты), программируемость системы на языке Python, возможность интеграции собственной модели с графическим интерфейсом. Система является экологичным решением и не требует использования токсичных, вредных материалов и/или веществ.

Слабые стороны проекта. Слабыми сторонами проекта являются: низкая скорость обучаемости модели для старого оборудования, модель не подходит для детектирования дефектов в видеопотоке изображений. Отсутствие инвестирования в развитие проекта также способно оставить разработки и препятствовать их дальнейшему появлению в нише. Кроме того, исследования проводятся не на базе новейшего оборудования, что может замедлить ход разработки.

Возможности. Возможностями для разрабатываемой системы можно назвать тенденцию к развитию искусственного интеллекта на производствах с целью обеспечения высокого качества продукции и снижения трудозатрат специалистов, также возможностями является текущий высокий спрос в сфере анализа больших данных и исследованиях методов Deep Learning. Данные предпочтительные ситуации являются изменениями в технологической сфере, которые надолго останутся в жизнедеятельности человека, т.к. повсеместное

развитие автоматизации влечет за собой спрос на обработку данных и их исследование.

Угрозы. Нежелательными ситуациями для проекта можно назвать снижение уровня спроса на технологии искусственного интеллекта в случае чрезвычайных ситуаций в обществе (война, экологические катастрофы), также появление сильного конкурента со всеми вышеуказанными преимуществами может помешать выйти продукту на рынок.

В итоге была составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 9).

Таблица 9 – SWOT–анализ

	Сильные стороны научно– исследовательского проекта:	Слабые стороны научно–исследовательского проекта:
	С1.Простота в эксплуатации; С2.Экологичность технологии и продукта; С3.Гибкая система детектирования дефектов; С5. Программируемость системы; С4.Соответствие заявленным свойствам продукта.	Сл1.Отсутствие возможности детектирования дефектов в видеопотоке изображений; Сл2.Использование устаревшей техники для исследования; Сл3. Недостаток финансирования проекта.
Возможности:	Используя полученные достижения в области разработки системы детектирования можно создать конкурентоспособную российскую продукцию на мировом рынке. Гибкость и программируемость системы позволят внедрить модель на различные виде производств.	Научно-исследовательская база ТПУ может быть использована при отсутствии необходимого оборудования и недостатке финансирования.
В1: Тенденция к развитию искусственного интеллекта на производствах; В2: Высокий спрос в сфере анализа больших данных и исследованиях методов Deep Learning.		
Угрозы:	Проведение дополнительных исследований позволит улучшить качество системы для повышения уровня конкурентоспособности.	Отсутствие возможности обнаружения дефектов в видеопотоке позволит увеличивать дальнейшее качество системы именно в данном направлении и при появлении других научных разработок;
У1: Снижение уровня спроса на технологии искусственного интеллекта в случае чрезвычайных ситуаций; У2: Появление других научных разработок с улучшенными свойствами детектирования;		

Результаты SWOT–анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно–исследовательского проекта.

3.2 Организация и планирование работ

Занятость каждого из участников при проведении каждого из этапов работ должна быть оптимально спланирована по срокам. На каждом этапе выполнения работ определяются исполнители и продолжительность каждого этапа. Календарный график реализации проекта – это результат планирования работ. Он представляет из себя наиболее наглядный и удобный способ организации проекта. Для его построения определяются даты начала и окончания работ, а также составляется перечень работ и соответствие работ своим исполнителям. Основные исполнители в проекте: научный руководитель (НР) и инженер (И). Разделение выполнения дипломной работы на этапы представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Основные этапы	№	Содержание работ	Специалисты
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	НР, И
Выбор направления исследований	2	Поиск и изучение нормативно-технической литературы	И
		Календарное планирование работ	НР, И
Теоретические и экспериментальные исследования	3	Описание технологического процесса	И
		Анализ методов глубокого обучения	И
		Обработка данных для обучения моделей	И
		Математическое описание используемых моделей	И
		Обучение модели на тренировочных данных	И
		Согласование архитектуры НС	НР, И
		Разработка пользовательского интерфейса (GUI)	НР, И
Обобщение и оценка результатов	4	Проверка работы с руководителем	НР, И
		Сравнение результатов работы модели	НР, И
Разработка технической документации	5	Подготовка литературного обзора, теоретической и практической частей работы	И

Для удобства построения графика Ганта длительность каждого из этапов работ необходимо перевести в календарные дни. Для этого воспользуемся следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (5)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Согласно производственному календарю на 2021 год (для 5-дневной рабочей недели) в 2021 году 365 календарных дней, 247 рабочих дней, 118 выходных/праздничных дней.

Рассчитаем коэффициент календарности для 5-дневной рабочей недели:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,478,$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Следовательно, мы можем рассчитать выполнения первого этапа работы (5 дней) в календарных днях:

$$T_{ki} = 5 \cdot 1,478 = 7,388 \approx 8.$$

Результаты работы представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Время выполнения работ в календарных днях

№	Наименование	Дни	Календарные дни	Специалисты
1	Составление и утверждение технического задания	5	8	НР, И
2	Поиск и изучение нормативно-технической литературы	5	8	И
3	Календарное планирование работ	5	8	НР, И
4	Описание технологического процесса	5	8	И
5	Анализ методов глубокого обучения	5	8	И
6	Обработка данных для обучения моделей	5	8	И
7	Математическое описание используемых моделей	4	6	И

Продолжение таблицы 11 – Время выполнения работ в календарных днях

№	Наименование	Дни	Календарные дни	Специалисты
8	Обучение модели на тренировочных данных	5	8	И
9	Согласование архитектуры НС	4	6	НР, И
10	Разработка пользовательского интерфейса (GUI)	10	18	НР, И
11	Проверка работы с руководителем	5	8	НР, И
12	Сравнение результатов работы модели	7	11	НР, И
13	Подготовка литературного обзора, теоретической и практической частей работы	21	32	И
	Итого (с)	86	137	с 14.01.2021 по 31.05.2021

Для планирования проекта использовались такие инструменты как диаграмма Ганта (таблица 12). Диаграмма Ганта представляет собой тип столбчатых диаграмм, который используется для иллюстрации календарного плана проекта.

Таблица 12 – График Ганта

№ работы	Ткi	Продолжительность выполнения работ														
		январь		февраль			март			апрель			май			
		2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	8	■														
2	8		■													
3	8			■												
4	8				■											
5	8					■										
6	8						■									
7	6							■								
8	8								■							
9	6									■						
10	18										■					
11	8											■				
12	11												■			
13	32													■		

В таблице 13 приведены обозначения для участников работ.

Таблица 13 – Обозначения для графика Ганта

Научный руководитель (НР)	
Инженер (И)	

В соответствие с диаграммой Ганта с учетом пятидневной рабочей недели реализация проекта начнется 1 января 2021 года и закончится 6 июня 2021 года. В итоге общая продолжительность выполнения исследовательских работ с полной самостоятельной разработкой системы детектирования составила 86 рабочих дней (или 137 календарных дней).

3.3 Бюджет разработки системы детектирования

При планировании бюджета НИИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета были использованы следующие группировки по статьям:

- материальные затраты проекта;
- амортизационные отчисления;
- основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- накладные расходы.

3.3.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

Была составлена таблица 14 с приведенными затратами на сырье, материалы, покупные изделия.

Таблица 14 – Затраты на сырье, материалы, покупные изделия

№	Материал	Единица материала	Цена, руб/ед.	Кол-во материала	Затраты, руб.
1	Видеокарта GIGABYTE GeForce GT 710 LP	1 шт.	4 217	1 шт.	4 217
2	Microsoft Office 2016 (лицензионное ПО)	1	3400	2	6800
Всего за материалы					11 017 руб.
Транспортно–заготовительные расходы (5 %)					550, 85 руб.
Итого по статье					11 567, 85 руб.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно–заготовительные расходы (5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов).

Далее произведен расчет затрат на заработную плату сотрудников научно-исследовательского проекта.

3.3.2 Расчет затрат на заработную плату

Данная статья расходов включает заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ (в том числе премии, доплаты и т.д).

Основная заработная плата включает в себя оклад, премии, доплаты, надбавки и районный коэффициент. Поэтому для расчета основной заработной платы нужно узнать среднерыночный оклад, количество рабочих дней, режим работы сотрудника (5-дневная или 6-дневная рабочая неделя), премиальный коэффициент (если он планируется) и районный коэффициент.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot Тр_{аб}, \quad (6)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$Тр_{аб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно–техническим работником, раб. дн. (таблица 9);

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата ($Z_{дн}$) рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = Z_{м} \cdot M / F_{д}, \quad (7)$$

где $Z_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени.

Результаты расчета баланса рабочего времени сведены в таблицу 15.

Таблица 15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней – выходные дни – праздничные дни	118	118
Потери рабочего времени – отпуск – невыходы по болезни	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	199

Расчет заработной платы работника за месяц ведется по формуле:

$$З_m = З_b \cdot (K_d + K_{пр}) \cdot K_r, \quad (8)$$

где $З_b$ – базовый оклад работника за месяц, руб.;

$K_{пр}$ – премиальный коэффициент;

K_r – районный коэффициент (для Томска 1,3);

K_d – коэффициент доплат и надбавок (определяется Положением об оплате труда).

Рассчитаем заработную плату руководителя за месяц:

$$З_m = 35000 \cdot (1 + 1) \cdot 1,3 = 35000 \cdot 2 \cdot 1,3 \approx 91 \text{ тыс. руб.}$$

Рассчитаем среднедневную заработную плату:

$$З_{дн} = \frac{91 \cdot 10,4}{199} = 4,76 \text{ тыс. руб.}$$

Рассчитаем основную заработную плату:

$$З_{осн} = 4,76 \cdot 86 = 409 \text{ тыс. руб.}$$

Рассчитаем заработную плату инженера за месяц:

$$З_m = 20000 \cdot (1 + 1) \cdot 1,3 = 20000 \cdot 1 \cdot 1,3 \approx 52 \text{ тыс. руб.}$$

Рассчитаем среднедневную заработную плату:

$$З_{дн} = \frac{52 \cdot 10,4}{199} = 2,72 \text{ тыс. руб.}$$

Рассчитаем основную заработную плату:

$$З_{осн} = 2,72 \cdot 86 = 234 \text{ тыс. руб.}$$

В таблице 16 отображен расчет заработной платы.

Таблица 16 – Расчет заработной платы за период работы над проектом

Должность	Зосн, тыс. руб.	Зм, тыс. руб.	Здн, тыс. руб.
Руководитель	409,00	91,00	4,76
Инженер	234,00	52,00	2,72

3.3.3 Расчет затрат на дополнительную заработную плату

Затраты по дополнительной заработной плате учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет затрат на дополнительную заработную плату ведется по следующей формуле:

$$\text{Здоп} = \text{Зосн} \cdot \text{Кдоп}, \quad (9)$$

где Зосн – затраты на основную заработную плату;

Кдоп – коэффициент дополнительной заработной платы (0,15).

Расчет затрат на дополнительную заработную плату сведены в таблицу 17.

Таблица 17 – Расчет затрат на дополнительную заработную плату

Должность	Зосн, тыс. руб.	Здоп, тыс. руб.	Кдоп
Руководитель	409,00	61,35	0,15
Инженер	234,00	35,10	0,15
Итого : 739,45 тыс. руб.	643,00	96,45	

3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые взносы)

Страховые взносы – это обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Расчет страховых отчислений ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{внеб}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \cdot \text{Котч}, \quad (10)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – затраты на основную заработную плату;

$Z_{\text{доп}}$ – затраты на дополнительную заработную плату;

Котч – доля отчислений на страховые взносы (0,302).

Рассчитаем страховые отчисления для руководителя:

$$C_{\text{внеб}} = (409,00 + 61,35) \cdot 0,302 \sim 142,05 \text{ тыс. руб.}$$

Рассчитанные данные по страховым отчислениям представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет страховых отчислений

Должность	$Z_{\text{осн}}$, тыс. руб.	$Z_{\text{доп}}$, тыс. руб.	$Z_{\text{отч}}$, тыс. руб.
Руководитель	409,00	61,35	142,05
Инженер	234,00	35,10	81,27
Итого	643,00	96,45	223,82

3.3.5 Расчёт накладных расходов

Накладные расходы – это прочие расходы, не относящиеся к предыдущим статьям. Например, оплата услуг связи, электроэнергии, отопления, канцелярские товары, реклама, охрана и т.д.

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Расчет накладных расходов ведется по формуле:

$$\text{Знакл} = (\text{сумма статей расходов}) \cdot \text{Кнакл}, \quad (11)$$

где Кнакл – коэффициент накладных расходов (16%).

Следовательно,

$$\text{Знакл} = (223,82 + 739,45 + 11,57) \cdot 0,16 = 155,97 \text{ тыс. руб.}$$

3.3.6 Формирование бюджета текущих затрат

Рассчитанная величина текущих затрат является основой для дальнейшего формирования бюджета затрат проекта.

Бюджет текущих затрат на проект приведен в таблице 19.

Таблица 19 – Расчет бюджета текущих затрат

Наименование	Сумма, тыс. руб.
Материалы для проекта НТИ	11, 568
Затраты на заработную плату (основная)	643, 000
Затраты на заработную плату (дополнительная)	96, 450
Отчисления на социальные нужды	223,82
Накладные расходы	155, 970
Общий бюджет	1130,808

3.4 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (таблица 20) [10]. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Таблица 20 – Группировка затрат по статьям аналогов разработки

Вариант №	Сырье, материалы	Основная и доп. заработные платы	Накладные расходы	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
1	45 290	787 200	171 226	237 674	1 241 390
2	38 560	901 060	193 876	272 102	1 405 598
Данный проект	11 570	739 45	155 970	223 820	1 130 808

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный

показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Для данного проекта и для аналогов 1 и 2 данный показатель составил 0.80, 0.88 и 1,00 соответственно, за знаменатель было взято наибольший интегральный показатель реализации технической задачи аналога 2 (таблица 17).

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (12)$$

где I_{ϕ}^p – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \quad (13)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности был сведен в таблицу 21.

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

№	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
Способствует росту производительности пользователя труда	0.2	5	5	5
Удобство в эксплуатации	0.2	5	5	3
Качество интеллектуального интерфейса	0.1	4	3	2
Программируемость системы	0.1	5	4	2
Надежность	0.2	4	4	5
Качество детектирования	0.2	5	5	3
ИТОГО	1	4.7	4.5	3.6

Интегральный показатель эффективности разработки и определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя:

- разрабатываемый проект: $4.70 / 0.80 = 5.88$;
- аналог 1: $4.50 / 0.88 = 5.11$;
- аналог 2: $3.60 / 1.00 = 3.60$.

Сравнительная эффективность проекта составляет: $5.88 / 5.11 = 1.15$. Данный показатель информирует нас о том, что проект эффективен по сравнению с рассмотренными аналогами по приведенным выше критериям. Полная сравнительная характеристика приведена в таблице 22.

Таблица 22 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Данный проект
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0.83	1.00	0.77
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4.50	3.60	4.70
3	Интегральный показатель эффективности	5.11	3.60	5.88
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1.15		

3.5 Вывод по разделу

В ходе оценки финансовой эффективности разрабатываемого научно-исследовательского проекта был создан календарный план проведения

основных работ. Согласно ему количество дней, необходимых на разработку алгоритма взаимодействия робототехнических устройств, составило 137 календарных дней. В ходе планирования научно-исследовательских работ определён перечень работ, выполняемый рабочей группой. В данном случае рабочая группа состоит из двух человек: научный руководитель и инженер. Результаты соответствуют требованиям ВКР по срокам и иным параметрам. Стоит отметить, что в ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент» с помощью SWOT-анализа были выведены наиболее эффективные и слабые в сложившейся ситуации стратегии, что поможет в ходе разработки системы.

Также были рассчитаны сметы затрат на разработку проекта. В результате, себестоимость проекта и его итоговая цена разработки составила 1 130 808 рублей. Уровень научно-технического эффекта – сравнительно высокий, это позволяет заключить, что проект экономически целесообразен для дальнейших работ и исследований.

4 Социальная ответственность

В ходе данной работы был разработан графический интерфейс с применением искусственного интеллекта для решения задачи детектирования дефектов на сталепрокатных листах в процессе производств. С помощью созданной системы можно отслеживать обнаруженные автоматически дефекты на производстве, производить контроль качества и использовать собранную информацию для отчетной документации.

Работы по проектированию и реализации программного обеспечения проводились в аудитории 101 корпуса №10 ТПУ. Для дальнейшего использования и исследования системы необходим персональный компьютер (ПК) с организованным рабочим местом пользователя.

В данном разделе ВКР исследованы меры по защите работника от возможного негативного воздействия среды, а также вредные и опасные факторы среды. Рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации и необходимые действия, которые разработчик должен выполнить в случае их возникновения. Были выделены и рассмотрены следующие факторы, воздействующие на оператора: недостаточная освещенность рабочей зоны, отклонение параметров микроклимата, превышение уровня шума

К опасным факторам при работе с персональным компьютером относятся высокое напряжение и возможность короткого замыкания, влекущего за собой опасность поражения специалиста электрическим током. Рассмотрены вопросы правового регулирования трудовых отношений, связанных с использованием разработанной системы.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Российское законодательство по части труда является комплексом нормативно-правовых актов, регламентирующих нормы трудовых отношений. Нормами трудовых отношений определяются права и обязанности

работников и работодателей, условия и характер их взаимодействия. Нормы трудового договора устанавливаются посредством законодательных актов.

Согласно Трудовому кодексу регулирование трудовых отношений в соответствии с Конституцией Российской Федерации осуществляется: трудовым законодательством (включая законодательство об охране труда), постановлениями Правительства Российской Федерации и нормативными правовыми актами федеральных органов исполнительной власти, нормативными правовыми актами органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, нормативными правовыми актами органов местного самоуправления [21].

Согласно Трудовому кодексу РФ:

- продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю;
- во время регламентированных перерывов целесообразно выполнять комплексы упражнений и осуществлять проветривание помещения.

Согласно Трудовому кодексу в течение рабочего дня работнику должен быть предоставлен перерыв для отдыха и питания продолжительностью не более двух часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается. Указанный перерыв может не предоставляться работнику, если установленная для него продолжительность ежедневной работы не превышает 4 часов [21].

Ежегодный основной оплачиваемый отпуск работникам, осуществляющим деятельность в должности инженера, составляет 28 календарных дней.

Месячная заработная плата работника, полностью отработавшего за этот период норму рабочего времени и выполнившего трудовые обязанности, не может быть ниже минимального размера оплаты труда. Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере.

Согласно санитарным нормам площадь на одно рабочее место пользователей ПК на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) - 4,5 м² [19]. Оптимальная рабочая поза при работе сидя обеспечивается также конструкцией стула: размерами, формой, площадью и наклоном сиденья, регулировкой по высоте. Основные требования к размерам и конструкции рабочего стула в зависимости от вида выполняемых работ приведены в ГОСТ 12.2.032–78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» и ГОСТ 21889–76* «Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования». Выделим следующие моменты, касающиеся конструкции кресел:

1.1 Кресло должно обеспечивать человеку-оператору соответствующую характеру и условиям труда физиологически рациональную рабочую позу.

1.2. Кресло должно обеспечивать длительное поддержание основной рабочей позы в процессе трудовой деятельности.

1.3. При невозможности покинуть рабочее место длительное время конструкция кресла должна обеспечивать условия для отдыха человека оператора в кресле.

4.2 Производственная безопасность

На человека в процессе его трудовой деятельности могут воздействовать опасные и вредные производственные факторы, перечень которых утвержден стандартом ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [22].

Данные производственные факторы подразделяются на четыре группы: физические, химические, биологические и психофизиологические.

С помощью ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» был определен перечень опасных и вредных факторов, характерных при разработке или эксплуатации проектируемого решения (эксплуатация и разработка проводится при помощи персонального

компьютера на рабочем месте оператора). Данный перечень представлен в таблице 23.

Таблица 23 — Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	— СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
2.Превышение уровня шума	-	-	+	— ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности — СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки[19]
3.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	— СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	— СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. — СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	-	+	+	— ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

4.2.1 Отклонение показателей микроклимата

Показателями, определяющими состояние микроклимата, являются: температура воздуха, температура поверхностей, относительная влажность воздуха и скорость движения воздуха. Оптимальные величины показателей микроклимата согласно гигиеническим требованиям к микроклимату производственных помещений [13] приведены в таблице 24.

Таблица 24 — Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	(22 – 24)	(21 - 25)	(60 – 40)	0,1
	Iб (140 -174)	(21 – 23)	(20 – 24)	(60 – 40)	0,1
	IIa (175 -232)	(19 – 21)	(18 – 22)	(60 – 40)	0,2
	IIб (233 -290)	(17 – 19)	(16 – 20)	(60 – 40)	0,2
	III (более 290)	(16 – 18)	(15 – 19)	(60 – 40)	0,3
Теплый	Ia (до 139)	(23 – 25)	(22 – 26)	(60 – 40)	0,1
	Iб (140 -174)	(22 – 24)	(21 – 25)	(60 – 40)	0,1
	IIa (175 -232)	(20 – 22)	(19 – 23)	(60 – 40)	0,2
	IIб (233 -290)	(19 – 21)	(18 – 22)	(60 – 40)	0,2
	III (более 290)	(18 – 20)	(17 – 21)	(60 – 40)	0,3

Вид деятельности относится к категории Ia по энергозатратам, т.к. процессы разработки, изготовления и эксплуатации происходят преимущественно в сидячем режиме. К данной категории относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт). Коллективная защита в производственном помещении решается путем нормализации метеорологических условий производственной среды. Способы нормализации

метеорологических условий производственной среды: вентиляция, отопление, кондиционирование.

4.2.2 Превышение уровня шума

Высокий уровень шума на рабочем месте оказывает негативное влияние на организм работника, вызывая неблагоприятные изменения в его органах и системах. Длительное воздействие шума способно привести к потере слуха работника, увеличению риска артериальной гипертензии, болезней сердечно-сосудистой, нервной системы и др. Невысокий уровень шума может сказываться на работоспособности сотрудника и повлечь за собой ухудшение памяти и проблемы с концентрацией внимания, вызвать головные боли, хроническую усталость и проблемы со сном.

Шум в рабочем помещении может возникать лишь при работе ПК, системы кондиционирования воздуха, работы осветительных приборов дневного света, либо проникать извне. Санитарными нормами [14] установлены допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности, выраженные в дБА — таблица 25.

Таблица 25 — Допустимые уровни звука для трудовой деятельности

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	Легкая физическая нагрузка	Средняя физическая нагрузка	Тяжелый труд 1 степени	Тяжелый труд 2 степени	Тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60			
Напряженный труд 2 степени	50	50			

Согласно гигиеническим критериям оценки условий труда [15] факторами трудового процесса, характеризующими тяжесть физического труда следует считать физическую динамическую нагрузку, массу поднимаемого и перемещаемого груза, стереотипные рабочие движения, статическую нагрузку, рабочую позу, наклоны корпуса, перемещение в пространстве. При оценке напряженности труда стоит учитывать интеллектуальные, сенсорные, эмоциональные нагрузки, монотонность нагрузок, режим работы.

Деятельность в процессе разработки характеризуется легкой физической нагрузкой и напряженностью преимущественно легкой степени, что означает допустимый уровень звука в (70-80) дБА.

Коллективными средствами защиты от шума можно считать средства звукоизоляции, звукопоглощения и глушители шума. В качестве средств индивидуальной защиты для органов слуха от шума и вибрации применяются наушники, вкладыши, шлемы, костюмы.

4.2.3 Отсутствие или недостаток естественного света и недостаточная освещённость рабочей зоны

При работе пользователя алгоритма, в зависимости от расположения лаборатории, могут возникать проблемы с поступлением естественного света, либо его отсутствием. Согласно нормам освещенности, освещенность рабочей зоны является вредным фактором, который негативно воздействует на зрение, а также приводит к быстрому утомлению и снижению работоспособности. Для нормализации освещенности производственных помещений и рабочих мест, в случае недостатка освещенности, рекомендуется применять следующие меры: дополнительные источники света, осветительные приборы и световые проемы. В случае избытка освещенности, рекомендуется использовать светозащитные устройства, светофильтры и защитные очки. Также для снижения негативного влияния рассматриваемого фактора на здоровье и работоспособность

человека, при работе за компьютером, необходимо соблюдать допустимое время нахождения перед монитором компьютера и делать перерывы в работе.

В таблице 26 представлены регламентированные допустимые характеристики освещенности рабочих мест в учебных аудиториях в университете.

Таблица 26 – Допустимые характеристики освещенности

Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение				
КЕО, %		КЕО, %		Освещенность, лк			Показатель дискомфорта, М, не более	Коэффициент пульсации освещенности, Кп, % не более
При и верхнем Или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При комбинированном освещении	При общем освещении	От общего		
3,2	1,2	2,1	0,7	-	-	400	40	10

При длительной работе за ПК должны быть предусмотрены перерывы, во время которых необходимо выполнять гимнастику, состоящую из общеукрепляющих и специальных упражнений для глаз.

Так же правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, снимает нагрузку на органы зрения, оказывает положительное психологическое воздействие на работников, содействует повышению производительности труда.

4.2.4 Поражение электрическим током

Электробезопасность — система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока [16]. Во избежание электротравм, перед началом работы необходимо производить осмотр состояния

оборудования и используемых измерительных приборов. В первую очередь необходимо осмотреть электрические провода на предмет целостности, обратить внимание на отсутствие оголенных проводов, соединений.

Устройства, используемые при выполнении работы, питаются напряжением до 220 В, имеют рабочую изоляцию и заземление. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов установлены для путей тока от одной руки к другой и от руки к ногам. Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (не аварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 27.

Таблица 27 — Предельно допустимые значения напряжений и токов

Род тока	U , В не более	I , мА не более
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	30	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Первая помощь при поражении электрическим током:

1. обеспечить свою безопасность. Надеть сухие перчатки (резиновые, шерстяные, кожаные и т.п.), резиновые сапоги. По возможности отключить источник тока. При подходе к пострадавшему по земле идти мелкими, не более 10 см, шагами.
2. сбросить с пострадавшего провод сухим не проводящим ток предметом (палка, пластик). Оттащить пострадавшего за одежду не менее, чем на 10 метров от места касания проводом земли или от оборудования, находящегося под напряжением.
3. вызвать (самостоятельно или с помощью окружающих) “скорую помощь”.
4. определить наличие пульса на сонной артерии, реакции зрачков на свет, самостоятельного дыхания.

5. при отсутствии признаков жизни провести сердечно-легочную реанимацию.
6. при восстановлении самостоятельного дыхания и сердцебиения придать пострадавшему устойчивое боковое положение.

4.3 Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого алгоритма группового взаимодействия, составной частью которой является программно-аппаратное обеспечение для управления мобильными роботами, на окружающую среду, а также анализируется жизненный цикл объекта исследования и предлагаются мероприятия по защите окружающей среды.

4.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Все влияние разрабатываемого устройства на окружающую среду можно разделить на прямое и косвенное. Важным косвенным фактором является потребление энергии персональным компьютером, так как производство электроэнергии тесно связано с пагубным воздействием на окружающую среду. Прямое негативного влияния разработка на окружающую среду не имеет.

4.3.2 Анализ влияния процесса эксплуатации объекта на окружающую среду

Жизненный цикл объекта исследования включает в себя 3 основные стадии: проектирование, производство и эксплуатация. Также немаловажным этапом является утилизация технического объекта или его производных после завершения эксплуатации.

На стадии проектирования выполняются теоретические и экспериментальные исследования, конструирование, разработка технической и проектной документации. В ходе проектирования выполняются расчеты и

создаются опытные образцы изделия. На данном этапе влияние выполняемых работ на окружающую среду незначительно, однако следует отметить, что, зачастую проектирование требует создания значительного количества опытных образцов. После завершения этапа проектирования необходимо корректно произвести утилизацию отходов, в соответствии с их классификацией.

Стадия производства подразумевает под собой технологическую подготовку производства, массовое или единичное производство, сборку, настройку, заводские испытания и складирование готовой продукции. Данный этап является наиболее ресурсозатратным для рассматриваемого объекта исследования, поэтому этап производства оказывает наибольшее косвенное влияние на окружающую среду. В связи со спецификой и областью применения проектируемой системы алгоритма взаимодействия, производство не подразумевает под собой массовости, а значит не требует складирования готовой продукции, что экономит как человеческие, так и природные ресурсы.

4.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Негативное влияние на атмосферу будет заключаться в выбросах, совершаемых при производстве пластика, а воздействие на литосферу будет характеризоваться утилизацией твердых бытовых отходов и составных частей операторской станции. Следовательно, для обеспечения экологической безопасности для литосферы необходим вывоз твердых бытовых отходов, с последующей переработкой. Для уменьшения негативного влияния объекта исследования на окружающую среду рекомендуется:

На стадии разработки:

- минимизировать отходы и потребление ресурсов за счет вторичного использования материалов образцов;
- сортировать отходы;
- маркировать и утилизировать отходы в соответствии с их классификацией.

На стадии производства:

- подвергать фильтрации воду при отведении ее в канализацию;
- подвергать фильтрации выбрасываемые в атмосферу газы;
- регулярно производить осмотр и замену фильтров;
- очищать и повторно использовать воду при производстве.

На стадии эксплуатации:

- своевременно производить технический осмотр объекта (ПК) и замену изношенных деталей;
- соблюдать нормы режима работы технической системы (ПК) для продления сроков ее эксплуатации;
- маркировать и утилизировать отходы в соответствии с их классификацией.

Утилизация отходов является наиболее важным этапом при минимизации вреда окружающей среде. В связи со спецификой технической системы, стоит отметить, что особое внимание следует уделить утилизации электронных компонентов информационных устройств.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

4.4.1 Вероятные ЧС, которые может инициировать объект исследований

При эксплуатации системы, наиболее вероятной ЧС, которая может быть инициирована объектом исследования, является возникновение пожара в лаборатории. Пожар может возникнуть в результате неисправности электрических приборов или в результате короткого замыкания. Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Исходя из установленной номенклатуры обозначений зданий по степени пожарной опасности, анализируемое в данной работе помещение (рабочая

зона оператора) относится к категории В [18]. Основными источниками возникновения пожара могут являться неработоспособное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях, электрические приборы с дефектами, а также перегрузка в электроэнергетической системе и короткое замыкание в электроустановке. Пожар в рабочем помещении разработчика может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера. К причинам неэлектрического характера относятся халатное и неосторожное обращение с огнём (курение, оставление без присмотра нагревательных приборов).

К причинам электрического характера относятся:

- короткое замыкание;
- перегрузка проводов;
- искрение;
- статическое электричество.

Режим короткого замыкания – появление в результате резкого возрастания силы тока, электрических искр, частиц расплавленного металла, электрической дуги, открытого огня, воспламенившейся изоляции.

Пожарная опасность при перегрузках – чрезмерное нагревание отдельных элементов, которое может происходить при ошибках проектирования в случае длительного прохождения тока, превышающего номинальное значение.

4.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Пожарная безопасность объекта должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями. Пожарная защита должна обеспечиваться применением средств пожаротушения, а также применением автоматических установок пожарной сигнализации. В связи с наличием

угрозы возгорания необходимо проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия:

- организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта;
- эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования;
- технические и конструктивные, связанные с правильным размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

Для тушения возгорания необходимо использовать пожарные рукава и стволы, находящиеся в специальных шкафах, расположенных в коридоре. Если возгорание произошло в электроустановке, для его устранения должны использоваться огнетушители углекислотные или порошковые.

Эвакуация людей из зоны пожара должно производиться по плану эвакуации. План эвакуации представляет собой заранее разработанную схему, на которой указаны пути эвакуации, эвакуационные и аварийные выходы, установлены правила поведения людей, порядок и последовательность действий в условиях чрезвычайной ситуации. Согласно Постановлению Правительства №390, в зданиях и сооружениях при одновременном нахождении на этаже более 10 человек должны быть разработаны и на видных местах вывешены планы эвакуации людей в случае пожара.

4.5 Выводы по разделу

В ходе работы над данным разделом были изучены требования законодательства в сфере социальных, правовых и экологических вопросов, а также вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности. Также был проанализирован характер действия, разработанных в работе решений, с точки зрения социальной ответственности за моральные, общественные, экономические, экологические возможные негативные последствия и ущерб

здоровью человека в результате разработки, производства и эксплуатации разрабатываемой системы автоматического детектирования и классификации дефектов.

Заключение

В ходе разработки системы автоматизации определения дефектов на сталепрокатных листах при помощи методов глубокого обучения было выполнено следующее:

- описана задача и проблематика текущего выявления дефектов на конвейерном производстве стали;
- была разработана функциональная схема Системы в рамках решаемой задачи;
- проанализированы тренировочные данные для выявления особенностей и выбора модели;
- применены и проанализированы архитектуры нейронных сетей Unet, DenseNET, XceptionX;
- был спроектирован графический интерфейс для работы оператора с моделью ИИ.

В ходе оценки финансовой эффективности разрабатываемого проекта был создан календарный план проведения основных работ, был определён перечень работ, выполняемый рабочей группой и был оценен уровень научно-технического эффекта. Сравнительная эффективность проекта показала высокий потенциал для проведения дальнейших работ и исследований.

В главе четыре был проанализирован характер действия разработанных решений с точки зрения социальной ответственности за моральные, общественные, экономические, экологические возможные негативные последствия и ущерб здоровью человека в результате разработки, производства и эксплуатации разрабатываемой системы автоматического детектирования и классификации дефектов.

В дальнейшем планируется исследование и доработка проекта с целью усовершенствования его функционала для применения в реальных условиях производства.

Список используемой литературы

- 1 Mallenom Systems. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mallenom.ru/resheniya/> (Дата обращения: 16.02.2021)
- 2 CameraIQ. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mallenom.ru/resheniya/> (Дата обращения: 18.02.2021)
- 3 Альбига. [Электронный ресурс]. URL: <https://albiga.ru/mashinnoe-zrenie/> (Дата обращения: 21.02.2021)
- 4 Северсталь. О компании. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.severstal.com/rus/about/> (Дата обращения: 15.02.2021)
- 5 Николенко С., Кадури́н А., Архангельская Е. «Глубокое обучение.» — СПб.: Питер, 2018. — 480 с., [Электронный ресурс]. URL: <https://www.piter.com/product/glubokoe-obuchenie> (Дата обращения: 22.02.2021)
- 6 Горбань А.Н. «Обучение нейронных сетей.» — М.: СССР-США СП «Параграф», 1990. — 160 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://lib-bkm.ru/13814> (Дата обращения: 28.02.2021)
- 7 Сикорский, О.С. Обзор свёрточных нейронных сетей для задачи классификации изображений / О.С. Сикорский // Новые информационные технологии в автоматизированных системах – Москва, 2017. – № 20. – с. 37–42.
- 8 Каллан Р. «Основные концепции нейронных сетей», «The Essence of Neural Networks First Edition.» — М.: Вильямс, 2001. — 288 с. [Электронный ресурс]. URL: http://www.immsp.kiev.ua/postgraduate/Biblioteka_trudy/OsnovnKonceptNejronSetejKallan2001.pdf (Дата обращения: 02.03.2021)
- 9 Evan Shelhamer, Jonathan Long, Trevor Darrel, «Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation». [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/abs/1605.06211> (Дата обращения: 17.03.2021)

- 10 Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, and Thomas Brox «U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation», Computer Science Department and BIOSS Centre for Biological Signalling Studies, University of Freiburg, Germany 2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1505.04597.pdf> (Дата обращения: 24.03.2021)
- 11 Gao Huang, Zhuang Liu, Laurens van der Maaten, Kilian Q. Weinberger “Densely Connected Convolutional Networks” 28 Jan 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/abs/1608.06993> (Дата обращения: 09.04.2021)
- 12 Francois Chollet Google, Inc. «Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions», 4 April 2017. [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1610.02357.pdf> (Дата обращения: 27.04.2021)
- 13 С.В. Ефимов, М. И. Пушкарев, А. С. Фадеев / Учебное пособие. Программное обеспечение автоматизированных систем. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – 128 с.
- 14 Документация PyQt5, Python Software Foundation, 2021. [Электронный ресурс]. URL: <https://pypi.org/project/PyQt5/> (Дата обращения: 29.04.2021)
- 15 Прохоренок Н.А., Дронов В.А. “Python 3 и PyQt 5. Разработка приложений”. СПб.: БХВ-Петербург, 2016. – 832 с.
- 16 И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н. А.Гаврикова. Методические указания к выполнению раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» бакалаврских работ для всех специальностей. Издательство Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
- 17 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018).
- 18 ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- 19 СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

- 20 СИ 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
- 21 Руководство Р 2.2.013-94 "Гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса".
- 22 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
- 23 Основы электробезопасности в электроэнергетике: учебное пособие / О.А. Калиничева; Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова. Архангельск: «С(А)ФУ», 2015.
- 24 ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
- 25 ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

Приложение А
(обязательное)
Архитектура модели XceptionX

