

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки – 01.03.02 «Прикладная математика и информатика»

Отделение школы (НОЦ) – Отделение экспериментальной физики

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы	
Исследование миокардиальной перфузии методами машинного обучения и искусственного интеллекта	

УДК 004.85:004.896:616.127-71

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0В92	Кандыбо Андрей Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мерзликин Б.С.	к.ф.м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Крицкий Олег Леонидович	к.ф.м.н.		

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП/ОПОП

(Подпись) (Дата)

(ФИО)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
ОВ92	Кандыбо Андрей Сергеевич

Тема работы:

Исследование миокардиальной перфузии методами машинного обучения и искусственного интеллекта	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

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 функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i>	Анонимизированная база данных исследований миокардиальной перфузии НИИ Кардиологии.
Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке <i>(аналитический обзор литературных источников 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>	1. Изучить прикладную область и разработать структуру решения проблемы; 2. Собрать и подготовить необходимое количество данных; 3. Обучить модель классификации определять сердечные заболевания; 4. Разработать API для разработанной модели.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и	Кашук Ирина Вадимовна

ресурсосбережение	
Социальная ответственность	Антоневич Ольга Алексеевна

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мерзликин Борис Сергеевич	к. ф.-м. н.		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0В92	Кандыбо Андрей Сергеевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
0B92		Кандыбо Андрею Сергеевичу	
Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение Школа	Экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	01.03.02 Прикладная математика и информатика

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала

1. <i>Оценка конкурентоспособности ИР</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Диаграмма Ганта</i>
4. <i>Бюджет НИ</i>
5. <i>Основные показатели эффективности НИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0B92	Кандыбо Андрей Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 0B92		ФИО Кандыбо Андрею Сергеевичу	
Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение (НОЦ)	Экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	01.03.02 Прикладная математика и информатика

Тема ВКР:

Исследование миокардиальной перфузии методами машинного обучения и искусственного интеллекта	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Введение – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации	<i>Объект исследования:</i> инструмент для анализа перфузионных карт. <i>Область применения:</i> областью применения данного инструменты может выступать любое медицинское учреждение, в котором проводятся исследования ОФЭКТ миокарда. <i>Рабочая зона:</i> офисное помещение <i>Размеры помещения:</i> 27,2 м² <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> 1 персональный компьютер <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> алгоритмическая и программная разработка с использованием персонального компьютера
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя» – СП 2.4.3648-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи" – Трудовой кодекс Российской Федерации: федер. Закон от 30 дек. 2001 г. №197-ФЗ Раздел 10
2. Производственная безопасность при разработке проектного решения: – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов	Опасные факторы: – Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий; Вредные факторы: – Отклонение показателей микроклимата; – Недостаточная освещённость рабочей зоны; – Пониженная световая и цветовая контрастность; – Повышенный уровень шума на рабочем месте; – Длительное сосредоточенное наблюдение
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения:	Анализ воздействия на литосферу: – Утилизация компьютеров, оргтехники и бумаги; Анализ воздействия на гидросферу: – Производство компьютерной техники;

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения:	– Наиболее типичная ЧС: Пожар;	
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику		

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0В92	Кандыбо Андрей Сергеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа студента выполнена на 78 страницах, содержит 30 таблиц, 15 рисунков, 27 источников.

Ключевые слова: подготовка данных, метод главных компонент, дисперсионный анализ, лес деревьев решений, сверточные нейронные сети.

Объект исследования: полярная карта перфузии миокарда.

Цель работы: создание инструмента для анализа перфузионных карт пациентов на основе ОФЭКТ миокарда и классификации их на норму, инфаркт миокарда, ишемию.

Методы проведения работы: теоретические (изучение прикладной области, анализ методов отбора признаков и существующих архитектур моделей машинного обучения) и практические (подготовка данных, обучения моделей, анализ результатов).

Инструмент, разработанный в данной работе, может использоваться в медицинских учреждениях, где проводятся исследования ОФЭКТ миокарда.

Для выполнения работы использовались: Microsoft Word 2019, станция Xeleris 4DR, языки программирования Python и C#.

Оглавление

Определения, сокращения, обозначения	11
Введение.....	12
1 Теоретическая часть.....	14
1.1. Методы отбора признаков для бинарной классификации	15
1.1.1. Метод главных компонент	17
1.1.2. Однофакторный дисперсионный анализ	20
1.2. Алгоритмы машинного обучения.....	20
1.2.1. Дерево решений бинарной классификации.....	21
1.2.2. Случайный лес деревьев бинарной классификации.....	22
1.2.3. Случайный лес деревьев регрессии.....	23
1.2.4. CatBoost	23
1.2.5. ResNet152	24
2 Практическая часть	25
2.1. Сбор данных	25
2.2. Первичная обработка данных	25
2.2.1. Итеративная реконструкция.....	26
2.2.2. Коррекция аттенюации.....	26
2.2.3. Построение полярных карт	27
2.3. Подготовка данных	27
2.4. Анализ результатов	31
2.5. Графический интерфейс	33
3 Социальная ответственность.....	37
3.1. Введение.....	37
3.2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	37

3.3. Производственная безопасность	39
3.3.1. Отклонение показателей микроклимата	40
3.3.2. Недостаточная освещенность рабочей зоны	42
3.3.3. Повышенная световая и цветовая контрастность.....	43
3.3.4. Повышенный уровень шума на рабочем месте	44
3.3.5. Длительное сосредоточенное наблюдение.....	45
3.3.6. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	46
3.4. Экологическая безопасность.....	47
3.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	48
3.5.1. Пожар	48
3.6. Выводы по разделу.....	50
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	52
4.1. Введение.....	52
4.2. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	52
4.2.1. Анализ конкурентных технических решений	52
4.2.2. SWOT-анализ	54
4.3. Планирование научно-исследовательских работ.....	58
4.3.1. Структура работ в рамках научного исследования	58
4.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	60
4.4. Бюджет научно-технического исследования	63
4.4.1. Расчет материальных затрат научно-технического исследования	64

4.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы	65
4.4.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)....	68
4.4.5. Накладные расходы	69
4.4.6. Бюджет ВКР.....	69
4.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	70
4.6. Выводы по разделу.....	74
Заключение	75
Список литературы	76

Определения, сокращения, обозначения

В данной работе приведены следующие термины с соответствующими определениями:

Перфузия миокарда – кровоснабжение миокарда.

РФП – радиофармацевтический препарат.

Сцинтиграфия миокарда – это исследование перфузии миокарда левого желудочка с помощью РФП, который распределяется в здоровых тканях сердца.

ОФЭКТ – однофотонная эмиссионная компьютерная томография.

Xeleris 4DR [1] - рабочая станция для обработки медицинских изображений.

Ядерная медицина – раздел клинической медицины, который занимается применением радионуклидных фармацевтических препаратов в диагностике и лечении.

PCA (principal components analysis) – метод главных компонент, один из основных способов уменьшить размерность данных, потеряв наименьшее количество информации.

Дисперсионный анализ – метод в математической статистике, направленный на поиск зависимостей в экспериментальных данных путём исследования значимости различий в средних значениях.

Машинное обучение – класс методов искусственного интеллекта, характерной чертой которых является не прямое решение задачи, а обучение за счёт применения решений множества сходных задач.

Введение

На сегодняшний день область применения методов машинного обучения постоянно расширяется, и связано это с автоматизацией большого количества процессов. Любой процесс, подразумевающий последовательное выполнение одинаковых действий, в той или иной степени будет рано или поздно автоматизирован.

Основной целью автоматизации является повышение качества исполнения процесса путем минимизации рисков, связанных с человеческим фактором или же просто ускорение выполнения процесса. Также автоматизация позволяет снизить стоимость выполнения работы, что позволяет сократить расходы предприятия.

Очевидно, что медицина является одной из тех сфер деятельности, которая требует максимальной точности исследований, ведь от их корректности может зависеть корректность поставленного диагноза, а иногда и здоровье пациента. С помощью методов машинного обучения можно автоматизировать ряд процедур, что позволит сократить ошибки, связанные с человеческим фактором, а также даст возможность специалисту сконцентрироваться на более важной работе.

В данной работе будут описаны исследования, проведенные совместно с НИИ кардиологии Томского НИМЦ в области ядерной медицины, а конкретнее – анализ перфузионной сцинтиграфии миокарда [2] методами машинного обучения.

Перфузионная сцинтиграфия и ОФЭКТ (однофотонная эмиссионная компьютерная томография) миокарда – трудоемкое исследование, требующее согласованной работы ряда медицинских специалистов, таких как радиолог, кардиолог, специалист по функциональной диагностике, а также среднего медицинского персонала, радиохимиков и инженеров. [3]

Целью данной работы является создание инструмента для анализа перфузионных карт пациентов на основе ОФЭКТ миокарда и классификации их на норму, инфаркт миокарда, ишемию. Для классификации будут использованы полярные карты – одна из форм представления томосцинтиграммы.

Задачи, которые необходимо решить в данной работе:

1. Собрать необходимых данных, то есть собрать размеченные полярные карты в покое и нагрузке для пациентов разных полов и возрастов.
2. Разработать классификатор пациентов на здоровых и больных.
3. Разработать классификатор отличных от нормы наблюдений на ишемию и инфаркт миокарда.

1 Теоретическая часть

Для проведения исследования миокарда с помощью однофотонной эмиссионной компьютерной томографии, пациенту необходимо подготовиться к исследованию. Для этого [4]:

1. за сутки исключить чай, кофе, шоколад, газированные (кола) и энергетические напитки;
2. удалить волосы на груди (при наличии) в местах крепления электродов ЭКГ;
3. завтракать перед исследованием можно, нельзя только вышеперечисленное;
4. все принимаемые препараты можно принимать в обычном режиме;
5. в день исследования надеть одежду, в которой легко раздеться до пояса (свободная кофта со свободными рукавами и штаны; женщинам лучше не надевать юбку или платье).

Далее происходит само исследование, которое проходит в 3 этапа:

- 1 этап: Нагрузочная проба. Нагрузка может быть как физической, так и фармакологической (вводится препарат, который «заменяет» физическую нагрузку) или комбинированной. На пике нагрузке вводится радиофармпрепарат Технетрил. Данный этап занимает 10-30 минут. Далее ожидается распределение препарата по сердцу, что занимает 1,5-2,5 часа.
- 2 этап: Основной, регистрация результатов. Этап занимает около 10 минут, но может потребоваться повторная регистрация через несколько минут. Далее идет ожидание результатов.
- 3 этап: Исследование в покое. Проходит на другой день. Включает в себя инъекцию препарата Технетрил, период ожидания распределения препарата по сердцу – до 2,5-3 часов и регистрацию результатов в гамма-камере (до 10 минут). О необходимости проведения данного этапа пациенту сообщает врач после получения результатов второго этапа.

Таким образом проводятся исследования перфузии миокарда. Результаты исследований становятся известными после предобработки данных, полученных после регистрации излучений препарата в гамма-камере, и анализа обработанных данных.

1.1. Методы отбора признаков для бинарной классификации

Как уже было сказано, в данной работе решается задача бинарной классификации – разделение пациентов на больных и здоровых. Для получения хорошего классификатора необходимо тщательно подготовить данные, в том числе отобрать только важные признаки и удалить остальные.

Отбор признаков необходим, ведь скорость и качество обучения модели напрямую зависит от этого этапа. Существует несколько подходов для выбора переменных:

1. Сильно коррелированные переменные. Если заметна очень сильная корреляция между признаками, то модель получает практически одну и ту же информацию в кратном размере. То есть признаки почти копируют друг друга, в таком случае модель будет переобучена. Решается эта проблема оставлением только одного из таких признаков.
2. Прямой отбор. Техника, заключающаяся в том, что добавление признаков в обучающую выборку происходит последовательно и изучается поведение модели на каждом этапе, если ее метрики начинают ухудшаться после добавления нового признака, то его следует исключить из выборки. Добавление признаков происходит с учетом их значимости. В таком случае модель может оказаться переобученной, ведь она может включать коррелирующие признаки.
3. Обратный отбор. Суть метода, как и в предыдущем, однако в противоположном направлении, сначала модель включает в себя все признаки, а потом постепенно исключаются малозначимые из них. На каждом этапе также фиксируется качество модели.

4. Рекурсивное исключение признаков. Сначала модель обучается на полном объеме данных, далее и оценивается значимость каждого из признаков, далее исключаются из выборки наименее важные из них. Этот процесс повторяется, пока в выборке не останется определенное количество признаков.
5. Регуляризация. Необходима для контроля баланса между предвзятостью - степенью переобученности модели на тренировочном наборе данных и отклонением - степень различия предсказаний между тренировочными и тестовыми данными. Существует две основные техники:

- a. L1 регуляризация – Лассо (1). Штрафуются весовые коэффициенты модели в целях изменения их важности для модели, причем возможно полное их обнуление, что равносильно удалению признака из рассмотрения. Эта техника применяется в случаях, когда имеется большой набор признаков и необходимо исключить некоторые из них, чтобы лучше понять, какие признаки лучше влияют на модель.

$$\hat{\beta} = \arg \min_{\beta} \left(\sum_{i=1}^n \left(y_i - \sum_{j=1}^m \beta_j x_{ij} \right)^2 + \lambda \sum_{j=1}^m |\beta_j| \right) \quad (1)$$

- b. L2 регуляризация – Ridge (2). Эта техника сохраняет все переменные, присваивая им важность на основании вклада в эффективность модели. Ridge применяется как правило в том случае, когда набор переменных мал и мы хотим использовать их все в обучении модели.

$$\hat{\beta} = \arg \min_{\beta} \left(\sum_{i=1}^n \left(y_i - \sum_{j=1}^m \beta_j x_{ij} \right)^2 + \lambda \sum_{j=1}^m \beta_j^2 \right) \quad (2)$$

- c. Elastic-Net (3). Данная техника объединяет преимущества Лассо и Ridge.

$$\hat{\beta} = \arg \min_{\beta} \left(\sum_{i=1}^n \left(y_i - \sum_{j=1}^m \beta_j x_{ij} \right)^2 + \lambda_2 \sum_{j=1}^m \beta_j^2 + \lambda_1 \sum_{j=1}^m |\beta_j| \right) \quad (3)$$

6. Метод главных компонент [10]. Идея метода заключается в построении подпространства признаков меньшей размерности таким образом, чтобы дисперсия, распределённая по получаемым осям, была максимальной. Таким образом строятся новые признаки на основе старых, которые объясняют большую часть информации. Это позволяет объяснять практически один и тот же объем информации, но меньшим числом признаков.
7. F-статистика однофакторного дисперсионного анализа [11]. Данный подход подразумевает отбирать признаки с максимальной объясненной дисперсией.

В данной работе были использованы два последних метода для отбора признаков – метод главных компонент и F-статистика.

1.1.1. Метод главных компонент

Как уже было сказано, метод главных компонент подразумевает переход от исходного пространства признаков к подпространству меньшей размерности новых не коррелируемых признаков.

На данный момент у нас был набор данных X , с количеством признаков $k = 252$ и количеством записей $n = 196$ пациентов, центрируем ее.

$$\hat{X}_{i,j} = X_{i,j} - \bar{X}_j$$

Также у нас имеется матрица ковариаций A , элементы которой рассчитаны по формуле:

$$A = XX^T$$

Тогда главные компоненты примут вид:

$$Z_i = W^{(i)T} \hat{X} = W_1^{(i)T} \hat{X}_1 + W_2^{(i)T} \hat{X}_2 + \dots + W_k^{(i)T} \hat{X}_k,$$

Где $W^{(i)}$ – векторы неизвестных коэффициентов преобразования, $i = 1, m$ ($m \leq k$), m – количество главных компонент. Дисперсии главных компонент будут получены из следующего соотношения:

$$D(Z_i) = E(Z_i Z_i^T) = W^{(i)T} E(\hat{X} \hat{X}^T) W^{(i)} = W^{(i)T} A W^{(i)}$$

Наложим условие нормировки на коэффициенты преобразования, так как суммарная дисперсия главных компонент должны быть равной 1.

$$W^{(i)T} W^{(i)} = 1$$

Задача поиска главных компонент свелась к задаче на собственные значения и собственные векторы матрицы ковариации A . Определив Собственные значения и собственные векторы матрица ковариации, упорядочиваем их по убыванию значений, которые соответствует доли объясняемой дисперсии для соответствующей главной компоненты. Построим график зависимости объясненной дисперсии от первых 10 главных компонент (рисунок 1.1). Из него видно, что первые 2 компоненты объясняют в сумме 46% всей дисперсии, что является достаточно большим числом, при условии, что изначально было 252 переменных, однако большая часть информации при этом теряется.

Увеличим число главных компонент до количества, при котором будет объяснено не менее 90% всей дисперсии (рисунок 1.2). Из графика можно заметить, что при количестве главных компонент больше 5 дисперсия уменьшается очень медленно. Следовательно, было бы правильно оставить 5 главных компонент, которые объясняют 62% всей дисперсии. Сохраним коэффициенты преобразования, в дальнейшем они будут использоваться для преобразования изображений перед их использованием в модели.

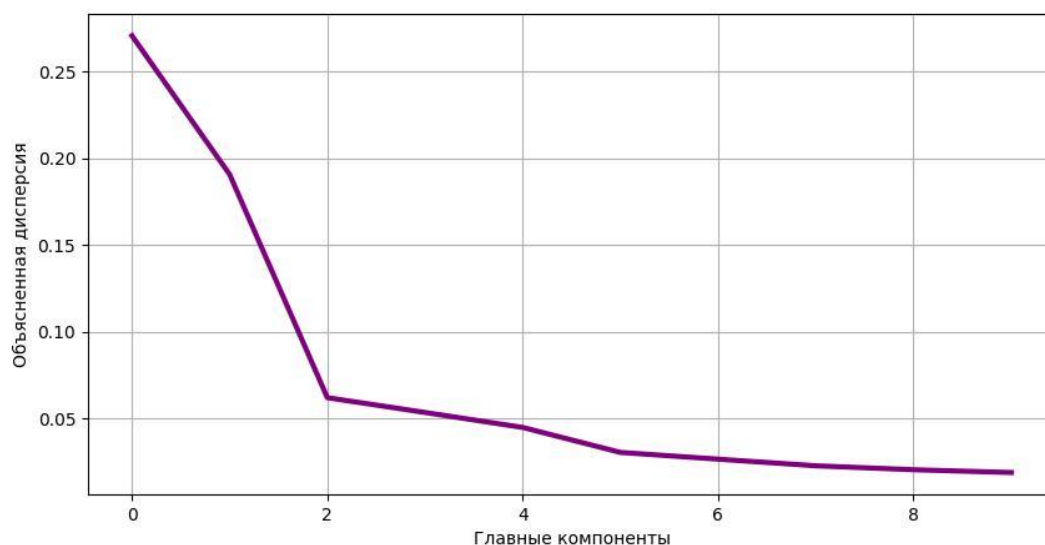


Рисунок 1.1. – Зависимость объясненной дисперсии от первых 10 главных компонент.

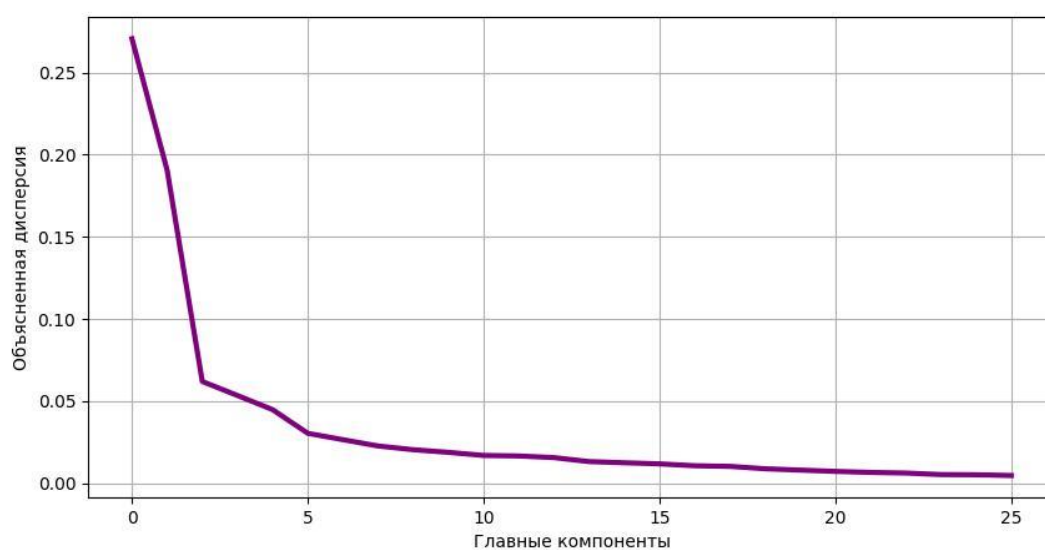


Рисунок 1.2. – Зависимость объясненной дисперсии от первых 26 главных компонент.

На данном этапе были построено 5 новых признаков, которые лучшим образом описывают большую часть полезной информации, при этом удалось избежать огромного количества бесполезной информации.

1.1.2. Однофакторный дисперсионный анализ

Второй подход к отбору признаков заключается в использовании F-статистики из однофакторного дисперсионного анализа. Значение F-статистики показывает отношение:

$$F = \frac{MS_B}{MS_R}$$

Где MS_B – межгрупповая дисперсия, MS_R – остаточная дисперсия

Таким образом, чем больше F-статистика, тем больше межгрупповая дисперсия по сравнению с остаточной дисперсией. Соответственно большое значение F-статистики говорит о существенной разнице между средними групп. А значит признак хорошо описывает целевую переменную и является информативным.

С помощью F-статистики отсортируем признаки по их информативности и выберем несколько первых признаков, которые являются наиболее важными. Увеличивать их количество будем, пока точность обученных моделей не перестанет увеличиваться.

1.2. Алгоритмы машинного обучения

Как уже было сказано, основная задача данной работы – получить модель, способную верно классифицировать здоровых людей и больных. Для этого необходимо обучить некоторые модели и провести анализ качества их предсказаний.

В данной работе было реализовано и обучено несколько моделей. Ниже приведены реализованные алгоритмы:

1. Случайный лес деревьев бинарной классификации (Random Forest Classifier [8])
2. Случайный лес деревьев регрессии (Random Forest Regressor [8])
3. CatBoost [9]

4. ResNet152

Приведем краткое описание работы каждого из алгоритмов и опишем их особенности.

1.2.1. Дерево решений бинарной классификации

Дерево решений – логический алгоритм классификации, основанный на поиске конъюнктивных закономерностей [8].

Суть данного метода последовательно разделять выборку на части так, чтобы определенность в каждой из групп возрастала. Пример работы бинарного дерева решений изображен на рисунке 1.3.

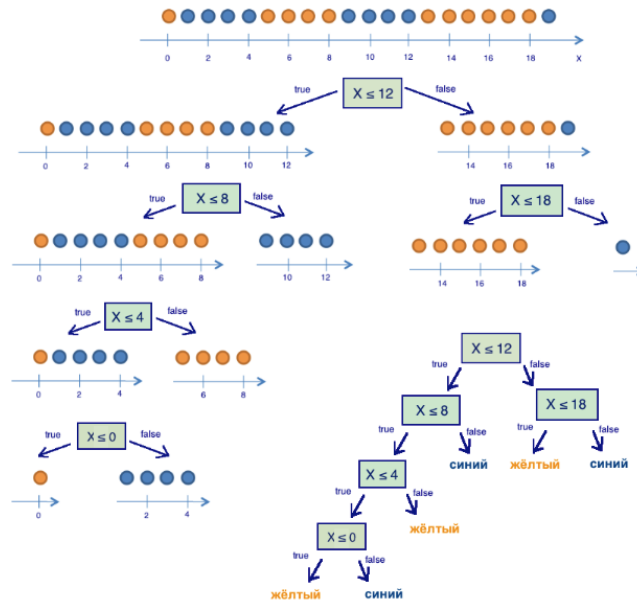


Рисунок 1. – Дерево решений

Для того, чтобы оптимально разделить выборку используется энтропия – степень хаоса в системе. Чем ниже энтропия, тем более упорядоченная система. Энтропия Шеннона определяется для системы с 2 возможными состояниями следующим образом:

$$S = -(p_1 \log_2 p_1 + p_2 \log_2 p_2),$$

где p_i – вероятность нахождения системы в i – ом состоянии.

После первого разбиения энтропия считается для новых состояний, после чего считается прирост информации (information gain, IG) по следующей формуле:

$$IG(Q) = S_0 - \left(\frac{N_1}{N} * S_1 + \frac{N_2}{N} * S_2 \right),$$

где N_i – количество элементов выборки, у которых признак Q имеет i – ое значение. А S_1 и S_2 – соответствующие энтропии первой и второй групп. При положительном приросте информации, система становится более упорядоченной. Продолжая разделять выборку, мы получаем все более точные классы.

Чтобы классифицировать новое наблюдение, достаточно задать каждому из его параметров те же «вопросы» (Q), что и при обучении.

Работа алгоритма дерева решений кажется точной, однако данная модель склонна к переобучению, это значит, что, точно классифицировав тренировочную выборку, модель может ошибаться на новых данных. С целью уменьшения эффекта переобучения уменьшают максимальную глубину дерева. Это уменьшает точность классификации на тренировочном наборе данных, однако делает модель более устойчивой к тестовым данным. Существуют и другие способы борьбы с переобучением деревьев, такие установка минимального количества наблюдений в одном листе дерева для дальнейшего его разделения.

1.2.2. Случайный лес деревьев бинарной классификации

Случайный лес – модель, состоящая из множества обычных деревьев решений. Лес деревьев называется случайным, так как в его основе лежат 2 принципа [8]:

1. Для каждого дерева случайным образом выбираются наблюдения из набора данных;

2. Для каждого дерева случайным образом отбираются признаки набора данных.

Во время обучения каждое дерево случайного леса обучается на своем случайном образце набора данных. При тестировании модели, результаты каждого дерева из леса усредняются, что уменьшает вариативность каждого дерева по отношению к своему образцу набору данных.

1.2.3. Случайный лес деревьев регрессии

Как и в случае с классификацией лес деревьев представляет собой набор деревьев, которые обучаются на своих образцах набора данных. При решении задачи регрессии меняется только критерий качества (энтропия). При решении задачи регрессии используется дисперсия для оценки качества предсказания в листе:

$$D = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \left(y_i - \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l y_i \right)^2,$$

где l – число объектов в листе, а y_i – значение целевого признака.

1.2.4. CatBoost

CatBoost – метод машинного обучения разработанный компанией Яндекс, основан на градиентном бустинге. Основой данного метода являются те же деревья решений, однако принцип их использования принципиально отличается. Идея бустинга состоит в том, чтобы в итеративном цикле добавлять новые слабые деревья, которые будут обучаться с использованием данных об ошибках предыдущих. Таким образом будет получать с каждой итерацией большее количество деревьев, уменьшая при этом ошибку.

Однако стоит учитывать, что при росте количества итераций будет увеличиваться и время обучения модели, в то время как уменьшение ошибки будет незначительным.

1.2.5. ResNet152

ResNet152 – «остаточная» нейронная сеть (от англ. Residual Network) с 152 нейронными слоями. Особенность данной архитектуры заключается в одной простой идее – подавать выходные данные двух последовательных сверточных слоев (блока) на следующий слой вместе с входными данными (рисунок 1.4). Соединение выходных данных блока с входными данными называется «остаточным соединением»

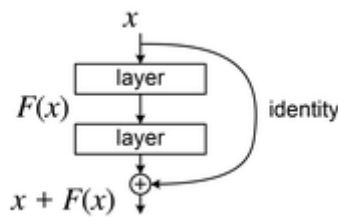


Рисунок 1.4. – Остаточные блок нейронной сети ResNet

Основная проблема глубоких нейронных сетей – затухание градиента с ростом количества слоев. Добавление входных данных к выходу из блока слоев позволяет решить данную проблему и градиент затухает не так быстро, что позволяет строить более глубокие нейронные сети.

2 Практическая часть

2.1. Сбор данных

Любая задача машинного обучения, предполагает наличие данных, которые будут использованы для обучения математических или статистических моделей. В данной работе все исследования будут проводиться на наборе данных, состоящем из полярных карт миокарда, возраста и пола пациента. Этих данных нет в общем доступе, поэтому необходимо вручную их собирать и размечать при помощи экспертов.

Сбор данных проводился на станции для ядерных исследований *Xeleris 4 DR*. *Xeleris 4 DR* является передовой технологией ядерной медицины в отношении относительного и абсолютного количественного анализа с получением числовых значений, необходимых направляющим врачам, для повышения качества медицинских отчетов. [1] Данная станция позволяет производить целый комплекс исследований, включая исследования перфузии миокарда.

В кардиоцентре, где проводились исследования, есть огромная база с пациентами, для которых были проведены интересующие нас исследования. Данные были анонимизированы и предоставлены нам для дальнейшей их обработки.

2.2. Первичная обработка данных

Для данных, полученных после проведения ОФЭКТ миокарда, требуется дополнительная обработка, выполняемая непосредственно на станции *Xeleris 4 DR*, которая проводилась под присмотром опытных врачей-кардиологов. Она включает в себя ряд этапов:

1. Итеративная реконструкция [5];
2. Коррекция аттенюации [6];
3. Выделение сердца в трех проекциях по зарегистрированным излучениям;

4. Построение полярных карт;

2.2.1. Итеративная реконструкция

Итеративная реконструкция относится к итеративным алгоритмам, используемых для реконструкции 2D- и 3D-изображений. При проведении исследований ОФЭКТ необходимо восстановить форму сердца, имея 15 его проекций. Для этого и используется итеративный метод реконструкции.

Основная идея метода заключается в сравнении измеренного изображения с оценочным изображением, корректируя результат, пока не будет достигнута определенная точность реконструкции. Схему итеративной реконструкции можно представить следующим образом (рисунок 2.1).

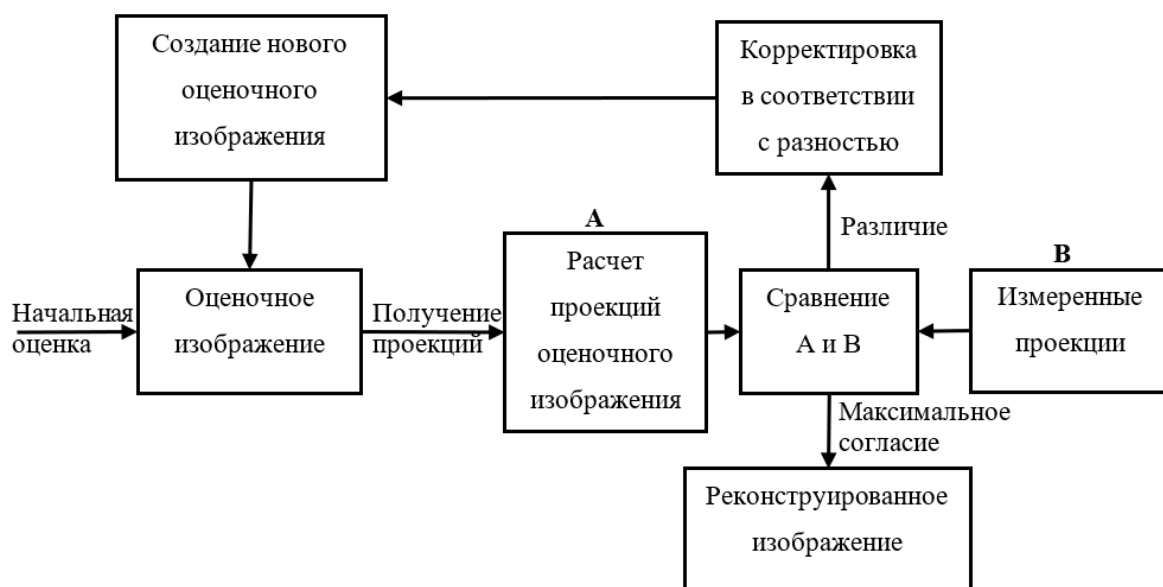


Рисунок 2.1. – Принципиальная схема итерационного метода реконструкции [5].

2.2.2. Коррекция аттенюации

После того, как была завершена процедура итеративной реконструкции проекций и была построена трехмерная модель левого желудочка сердца, выполняется проверка совмещения перфузионных (ОЭКТ) изображений с анатомическими (КТ) изображениями. Данный этап существенно влияет на

дальнейший анализ данных и постановку диагноза. Ведь неправильное совмещение данных с большой вероятностью приведет к неправильной корректировке поглощения излучения и появлению на томосцинтиграммах ложноположительных дефектов перфузии. [3]

2.2.3. Построение полярных карт

Оценка перфузии по данным томосцинтиграфии является полуколичественной. Она основана на поиске пикселя с максимальной интенсивностью сигнала, которая принимается за 100%, в остальных пикселях значения рассчитываются в долях от максимального значения. Далее полученное изображение переводится в привычную для медицинского работника цветовую схему.

В программах обработки томосцинтиграммы обычно представлены в виде томографических срезов и полярных карт (рисунок 2.2).

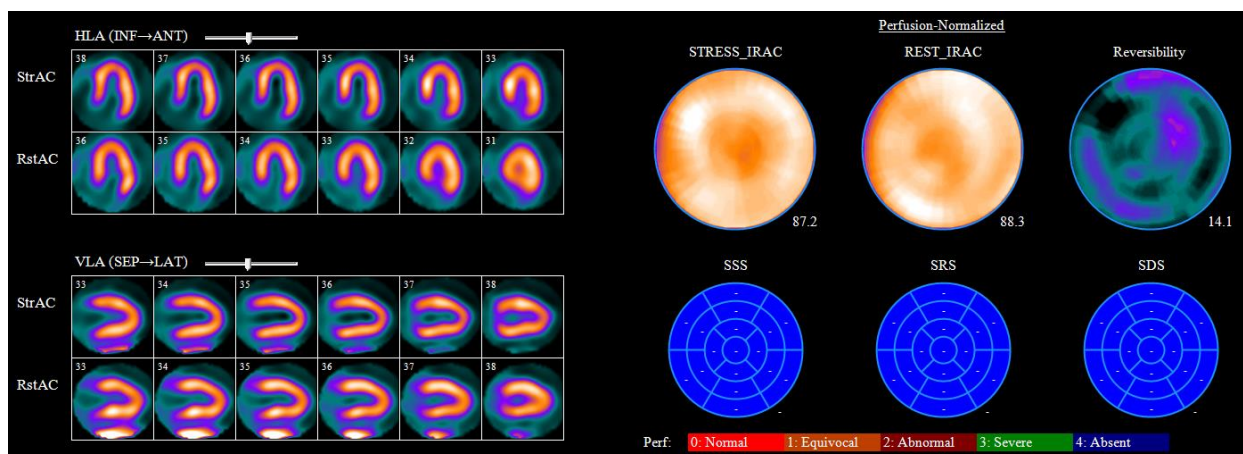


Рисунок 2.2. – Пример томографических срезов (слева) и полярных карт (справа).

2.3. Подготовка данных

После сбора данных и предварительной обработки их на станции, было необходимо подготовить данные для эффективного извлечения информации из них с помощью методов машинного обучения.

Для начала, были вырезаны полярные карты миокарда в покое и в нагрузке, далее на полученных изображениях (рисунок 2.3) были закрашены числа в правом нижнем углу и удалена синяя линия, ограничивающая полярную карту. Учитывая тот факт, что значительная неоднородность полярной карты чаще всего говорит о не здоровом пациенте, было решено посчитать среднеквадратическое отклонение и среднее значение интенсивности цвета для каждого изображения.

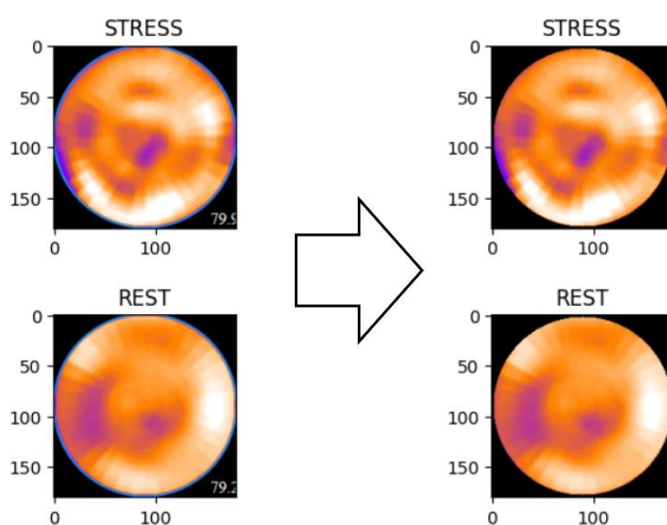


Рисунок 2.3. – Обрезанные полярный карты в нагрузке(сверху) и в покое (снизу)

В одной из исследуемых работ [7] было предложено интересное решение данной задачи (рисунок 2.4). Идея заключается в том, чтобы извлекать признаки из изображения путем нарезки его на 5 горизонтальных и 5 вертикальных срезов. Далее для каждого среза была посчитана суммарная интенсивность пикселей. В итоге было получено 10 атрибутов, которые описывают ту или иную полярную карту.

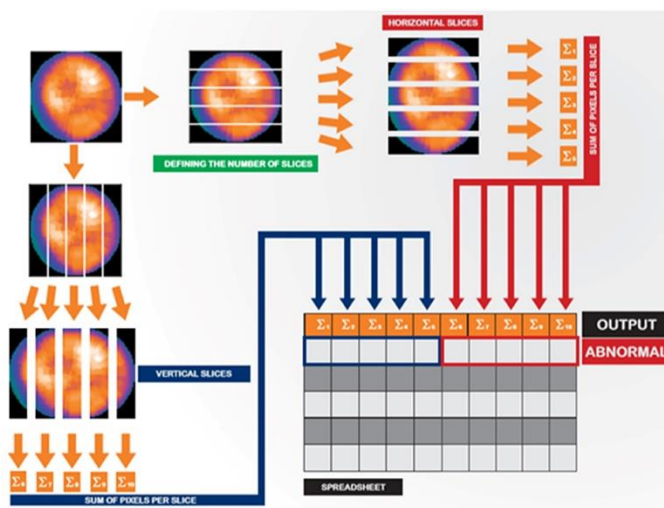


Рисунок 2.4. – Стратегия нарезки изображений и выделения признаков.

Используя данный подход с учетом приведенных выше пяти статистических характеристик, были получены 15 атрибутов, которые в дальнейшем были использованы для обучения алгоритмов машинного обучения.

Используя опыт данной работы, было решено также разрезать полярные карты на вертикальные и горизонтальные полосы (рисунок 2.5).

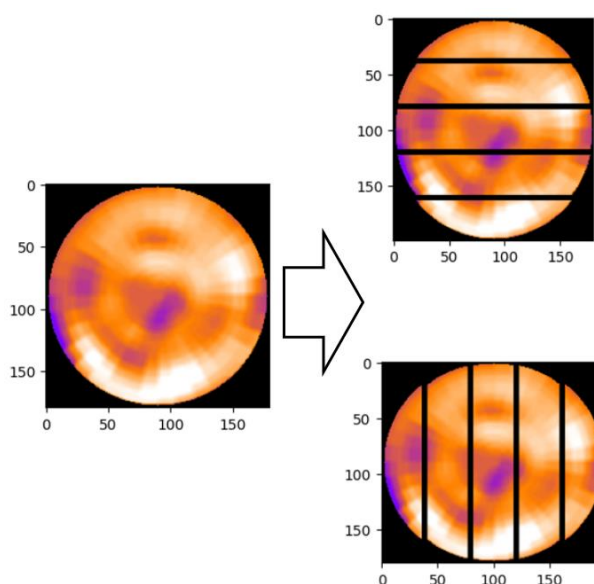


Рисунок 2.5. – Нарезка изображений на вертикальные и горизонтальные полосы.

Кроме этого, учитывая тот факт, что сердце имеет почти цилиндрическую форму, имеет смысл нарезать полярную карту кольцами (рисунок 2.6).

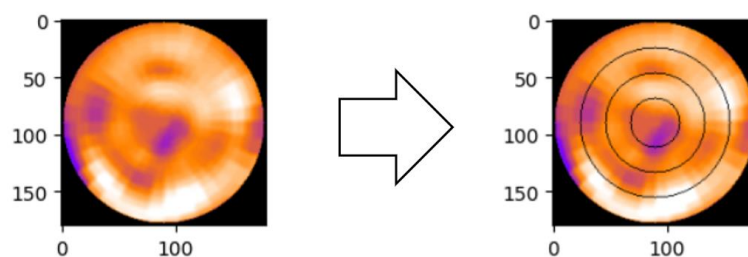


Рисунок 2.6. – Нарезка изображения на кольца.

Далее были рассчитаны указанные выше характеристики (средняя интенсивность пикселей и среднеквадратическое отклонение) для каждой из полос и каждого кольца изображения, причем данные характеристики считались без учета нулевых пикселей (черных), что позволило адекватно сравнивать средние полосы с крайними. В итоге было получено 28 параметров.

Следующим этапом было проанализировать влияние цветовых каналов изображения на целевую переменную (рисунок 2.7). Из рисунка видно, что неоднородность полярной карты выражена на всех трех цветовых каналах, но наиболее ярко на синем. На данном этапе можно предположить, что синий цветовой канал будет оказывать большее влияние на результат предсказания будущих моделей.

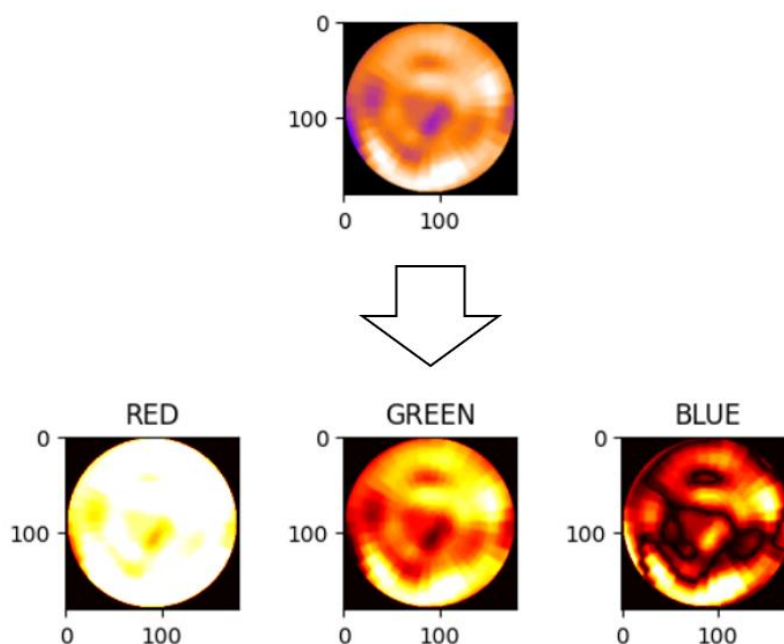


Рисунок 2.7. – Интенсивность цветовых каналов полярной карты.

Для увеличения количества признаков, описанная выше процедура нарезки изображений была применена в каждом цветовом канале, что позволило увеличить количество признаков в 3 раза, и оно стало равным 84. И это еще не всё, для получения еще большей информации было решено провести аналогичные действия для каждой из полярных карт (REST, STRESS, Reversibility). Таким образом было получено огромное количество признаков, равное 252 числовым значениям.

Очевидно, что многие из этих признаков могут не нести полезной информации, а следовательно их число необходимо уменьшить.

2.4. Анализ результатов

После подготовки данных и выбора моделей для обучения следующий этап – обучение имеющихся моделей. Для того, чтобы получить адекватную оценку результатов была использована кросс-валидация.

Кросс-валидация применяется, как правило, в тех случаях, когда имеется небольшое количество данных для обучения. В нашем случае имеется информация о 196 пациентах, это слишком маленькое число для получения качественной модели, поэтому будем обучать модели несколько раз на разных пациентах и тестировать на остальных. В результате получим некие средние метрики качества моделей.

На данный момент было отобраны признаки двумя способами (главы 1.1.1 и 1.1.2). Обучим и протестируем модели, приведенные в главе (1.2) используя оба способа отбора признаков.

Как уже было сказано ранее, наша задача – создание инструмента для классификации полярных карт на норму, ишемию и инфаркт. Для этого необходимо создать 3 модели, так как у больного человека может быть как ишемическая болезнь, так и независимо развиваться инфаркт.

Результаты тестирования обученных моделей для определения здоровых пациентов приведены в таблице 2.1. Из нее видно, что отбор

признаков с использованием F-статистики дал более качественный результат, чем построение главных компонент. В среднем качество моделей увеличилось на 5%. Также стоит отметить, что наиболее привлекательные результаты удалось получить с помощью модели Random Forest Regressor. Удалось добиться точности 0,9, при этом полнота достигает 0,94.

Таблица 2.1. – Результаты моделей для определения здоровых людей

	accuracy		precision		recall		F1-score	
	F-стат.	PCA	F-стат.	PCA	F-стат.	PCA	F-стат.	PCA
RFR	0,9	0,85	0,92	0,88	0,94	0,89	0,92	0,88
RFC	0.9	0.84	0.93	0.89	0.9	0.87	0.92	0.87
CatBoost	0.89	0.83	0.89	0.89	0.94	0.86	0.91	0.86
ResNet	0.69		0.78		0.78		0.78	

Результаты тестирования обученных моделей для определения пациентов, у которых развивается ишемия приведены в таблице 2.2. Из нее видно, что отбор признаков с использованием F-статистики дал более качественный результат, чем построение главных компонент, увеличив в среднем качество моделей на 3%. Также стоит отметить, что задачу определения развития ишемии лучшим образом также решает Random Forest Regressor. Удалось добиться точности 0,81, при этом полнота достигает 0,92.

Таблица 2.2. – Результаты моделей для определения людей, у которых развивается ишемия

	accuracy		precision		recall		F1-score	
	F-стат.	PCA	F-стат.	PCA	F-стат.	PCA	F-стат.	PCA
RFR	0,81	0,79	0,79	0,8	0,92	0,83	0,84	0,81
RFC	0,81	0,77	0,78	0,79	0,9	0,81	0,83	0,79
CatBoost	0,81	0,76	0,81	0,76	0,87	0,82	0,83	0,78
ResNet	0.57		0.5		0.89		0.64	

Результаты тестирования обученных моделей для определения пациентов, у которых развивается инфаркт приведены в таблице 2.3. В данной задаче результаты аналогичны предыдущим. Метод главных компонент проигрывает в среднем на 5%, а лучше моделью является Random Forest Classifier. Удалось добиться точности 0,87, при этом полнота достигает 0,84.

Таблица 2.3. – Результаты моделей для определения людей, у которых развивается инфаркт

	accuracy		precision		recall		F1-score	
	F-стат.	PCA	F-стат.	PCA	F-стат.	PCA	F-стат.	PCA
RFR	0,87	0,81	0,87	0,82	0,84	0,79	0,85	0,78
RFC	0,84	0,81	0,82	0,83	0,85	0,78	0,82	0,77
CatBoost	0,84	0,82	0,82	0,84	0,84	0,78	0,82	0,78
ResNet	0.6		0.6		0.6		0.6	

Таким образом было получено 3 модели, позволяющих определять здоровых людей, людей с развивающейся ишемией или инфарктом. Результаты приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4. – Лучшие модели для каждой задачи классификации

	accuracy	precision	recall	F1-score
Норма	0,9	0,92	0,94	0,92
Ишемия	0,81	0,79	0,92	0,84
Инфаркт	0,87	0,87	0,84	0,85

2.5. Графический интерфейс

Как уже было сказано ранее, цель данной работы – создание инструмента для анализа перфузионных карт. Для того, чтобы данными моделями могли пользоваться врачи, необходимо разработать графический интерфейс, позволяющий проводить эти исследования.

Графический интерфейс инструмента для анализа перфузионных карт пациентов разработан в виде десктопного приложения под систему Windows. Само приложение написано на языке C# с использованием платформы пользовательского интерфейса для создания классических приложений Windows – Winforms. Сами модели предсказания написаны на языке Python.

При запуске приложения в директории Temp создается процесс predictor.exe – в котором организована работа Python-модели. При успешном его запуске и импорте всех библиотек в консоль выводится значение 2, которое сигнализирует о том, что процесс готов к предсказаниям. Для этого требуется некоторое время, поэтому кнопка «Исследовать» будет неактивной (рис. 2.8).



Рисунок 2.8. – Кнопка Исследовать неактивна

Далее нужно выбрать интересные изображения полярных карт после нажатия кнопки «Открыть». Изображения из директории будут отображаться в окне программы (рис. 2.9).

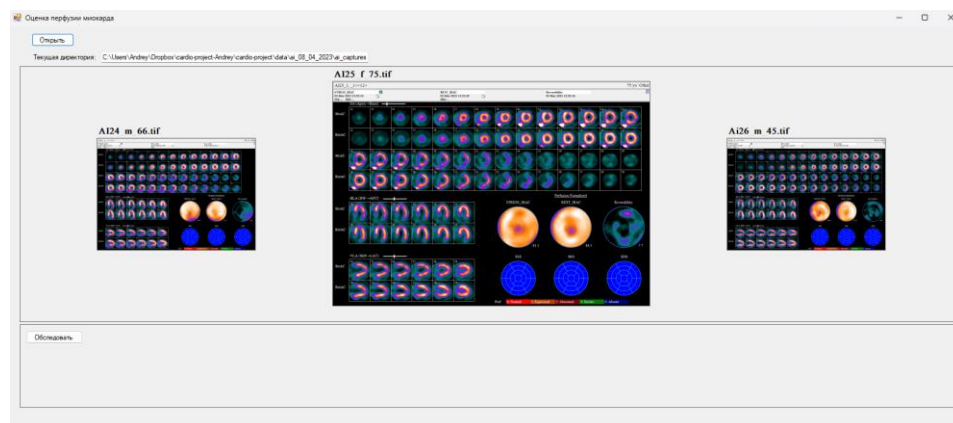


Рисунок 2.9. – Изображения отображаются в окне программы
Для того, чтобы листать, нужно кликнуть ЛКМ на левое или правое изображение.

Для того, чтобы увеличить центральное изображение достаточно просто на него кликнуть ЛКМ, откроется новое окно, которое можно будет потом закрыть (рис. 2.10).

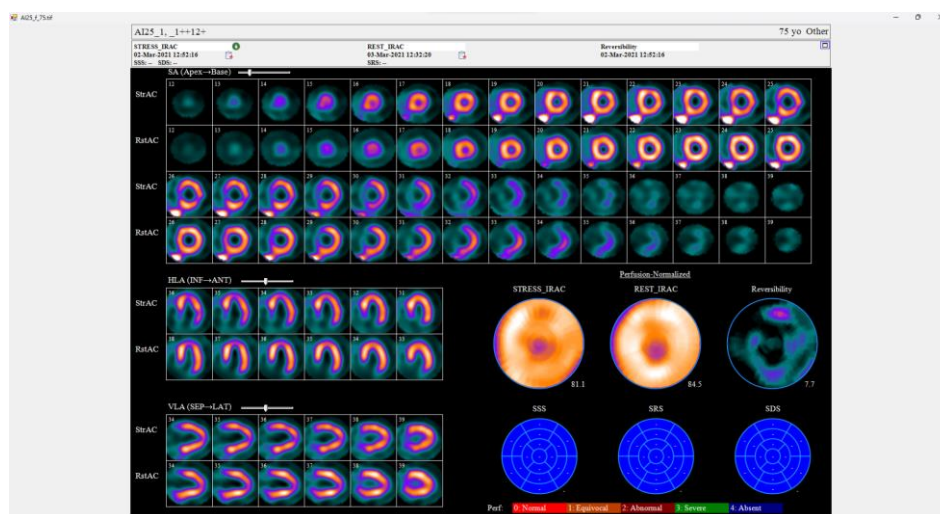


Рисунок 2.10. – Центральное изображение в отдельном окне
При нажатии кнопки «Исследовать» в predictor.exe через интерфейс командной строки отправляется путь до исследуемого изображения. В predictor.exe изображение считывается и обрабатывается, и в консоль выводится предсказание, далее оно считывается в самом приложении и выводит в окно информацию о том, здоров ли пациент или нет (рис. 2.11).

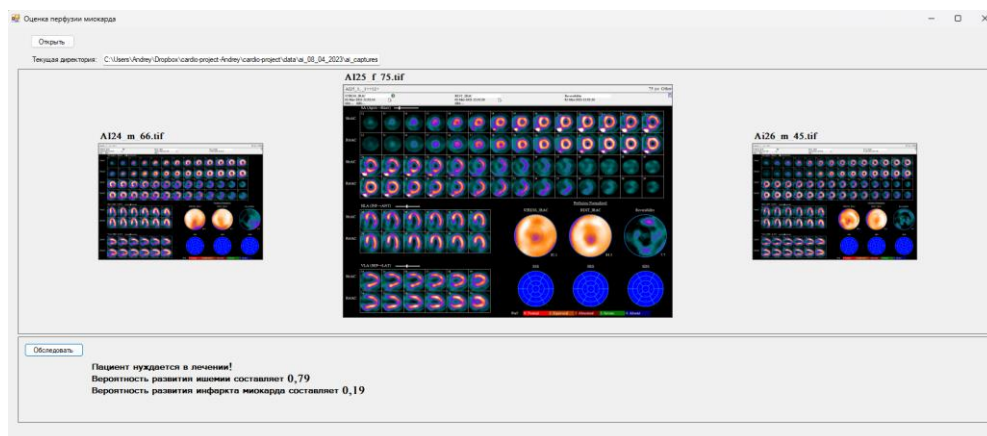


Рисунок 2.11. – Получение результатов анализа

3 Социальная ответственность

3.1. Введение

Объектом разработки данной ВКР является инструмент для анализа перфузионных карт. Перфузионная карта – это одна из форм сцинтиграфии миокарда. Перфузионные карты получают в результате проведения исследования ОФЭКТ миокарда. Далее они анализируются врачом-кардиологом, который ставит диагноз. Разработанный инструмент позволяет автоматизировать этот анализ, что позволит специалисту сосредоточиться на более важной работе. Данный инструмент будет полезен при работе в кардиологических центрах, где проводят приведенные выше исследования.

Проект выполняется на персональном компьютере (ПК), поэтому в данном разделе проводится анализ опасных и вредных факторов при работе с ПК, влияния этих факторов на окружающую среду и мероприятий по её защите.

Предметом исследования является рабочая зона разработчика, включая компьютерный стол, ПК, клавиатуру, компьютерную мышь и стул. Работы выполнялись в компьютерном классе 427А 10 корпуса ТПУ.

3.2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специальная оценка условий труда является единым комплексом последовательно осуществляемых мероприятий по идентификации вредных и (или) опасных факторов производственной среды и трудового процесса и оценке уровня их воздействия на работника с учетом отклонения их фактических значений от установленных уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти нормативов (гигиенических нормативов) условий труда и применения средств индивидуальной и коллективной защиты работников [11]. По результатам проведения специальной оценки условий труда устанавливаются классы (подклассы) условий труда. Согласно трудовому кодексу РФ работникам высшей категории (офисные работники) предусматриваются:

1. Понятие рабочего времени. Нормальная продолжительность рабочего времени [ТК РФ Статья 91]: Для работников, условия труда на рабочих местах, которых по результатам специальной оценки условий труда отнесены к оптимальным – нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю.
2. Обеспечение нормальных условий труда для выполнения норм выработки [ТК РФ Статья 193];
3. Предоставления работникам предусмотренных ТК РФ выходных и праздничных дней [ТК РФ г. 18], а также оплачиваемые отпуска [ТК РФ г. 19];
4. Установления работникам предусмотренных ТК РФ гарантий и компенсаций [ТК РФ г. 28].

Разработка программного обеспечения происходит за компьютерным столом. Рабочее место разработчика должно быть организовано согласно требованиям, представленным в «Типовая инструкция по охране труда для пользователей персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) в электроэнергетике» [12]:

1) При размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами, должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м;

2) Рабочие места с ПЭВМ в помещениях с источниками вредных производственных факторов должны размещаться в изолированных кабинах с организованным воздухообменом;

3) Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов;

4) Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования. При этом

допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики;

5) Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления.

При разработке алгоритма для формирования оптимального графика ППР было предоставлено рабочее место, где соблюдены все требования по организации труда с ЭВМ.

3.3. Производственная безопасность

При разработке алгоритма разработчики подвергаются воздействию различных вредных и опасных факторов, которые представлены в таблице 3.1. В таблице также представлены соответствующие нормативные документы и этапы работ, во время которых разработчики могут столкнуться с их влиянием.

Таблица 3.1. – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [13]
Недостаточная освещённость рабочей зоны	СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [14]
Повышенная световая и цветовая контрастность	СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [14]
Повышенный уровень шума на рабочем месте	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [15] СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003» [26]

Длительное сосредоточенное наблюдение	МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности» [16]
Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ Р 58698-2019 «Защита от поражения электрическим током» [18]

По данной таблице можно сделать вывод, что на разработчиков алгоритма в ходе их деятельности воздействуют только физические и психологические факторы, а химические и биологические факторы отсутствуют.

3.3.1. Отклонение показателей микроклимата

Отклонение показателей микроклимата на рабочем месте от комфортных непосредственно влияет на здоровье работников. Повышение скорости движения воздуха и понижение температуры может привести к переохлаждению организма путем усиления теплообмена и процесса теплоотдачи при испарении пота. Недостаточная влажность в свою очередь ведет к интенсивному испарению влаги со слизистых оболочек. Это может привести к пересыханию, растрескиванию и затем к заражению болезнетворными бактериями. При разработке алгоритма используются персональные компьютеры, которые могут непосредственно влиять на микроклимат путем снижения относительной влажности и повышению температуры в рабочем помещении.

Общие требования к микроклимату производственных помещений регламентируются СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Санитарные нормы регулируют оптимальные и допустимые значения показателей в рабочей зоне, соответствующие физиологическим потребностям организма человека, для создания комфортных и безопасных условий труда.

Работа, выполняемая командой разработки программного обеспечения, по энергозатратам относится к категории Ia (производится сидя, сопровождается незначительными физическими усилиями). В таблицах 3.2 и 3.3 представлены оптимальные и допустимые значения показателей микроклимата на рабочих местах для данной категории.

Таблица 3.2. – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24	21-25	60-40	0,1
Тёплый	23-25	22-26	60-40	0,1

Таблица 3.3. – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах

Период года	Температура воздуха, °С	температура	относи	Скорость движения воздуха, м/с
-------------	-------------------------	-------------	--------	--------------------------------

	диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальн ых величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальн ых величин, не более
Холодный	20 ,0 – 21,9	24 ,1 – 25,0	19 ,0 – 26,0	1 5 – 75	0,1	0,1
Тёплый	21 ,0 – 22,9	25 ,1 – 28,0	20 ,0 – 29,0	1 5 – 75	0,1	0,1

В производственных помещениях, где поддерживать допускаемые нормативные величины локального микроклимата не представляется возможным, необходимо проводить мероприятия по защите работников от возможного перегрева и охлаждения. Это достигается разными способами: использование систем местного кондиционирования воздуха; регламентацией периодов работы в неблагоприятном локальном микроклимате и отдыха в помещении с микроклиматом, нормализующим тепловое состояние; уменьшение длительности рабочей смены и др.

3.3.2. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточная освещенность рабочей зоны является вредным производственным фактором, приводящим к повышенной утомляемости и снижению работоспособности человека на предприятии. Продолжительная работа в условиях низкой освещенности приводит к ухудшению зрения.

Нормы естественного, искусственного и совместного освещения регламентируются СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Разработка программного обеспечения относится к категории

работ высокой точности – Б (наименьший или эквивалентный объект различения 0,30 – 0,50 мм), подразряд 1 (относительная продолжительность зрительной работы при направлении зрения на рабочую поверхность не менее 70%).

В таблице 3.4 представлены требования к освещению рабочего помещения для разряда Б1.

Таблица 3.4. – Требования к освещению рабочего помещения

Искусственное освещение				Естественное освещение	
Освещенность на рабочей поверхности от системы общего освещения, лк	Цилиндрическая освещенность	Объединенный показатель дискомфорта, не более	Коэффициент пульсации освещенности, Кп, %, не более	Коэффициент естественной освещенности, %, при	
				верхнем или комбинированном	боковом
300	100	21	15	3	1

Яркий свет в зоне периферийного зрения заметно увеличивает глазное напряжение. Для снижения влияния вредного фактора недостаточной освещенности необходимо, чтобы уровень естественного освещения рабочего пространства приблизительно совпадал с яркостью дисплея. Проблему недостаточной освещенности помещения можно решить при помощи установки дополнительных осветительных приборов, расширения световых проемов.

3.3.3. Повышенная световая и цветовая контрастность

Отклонение светового и цветового контраста на рабочем месте приводит к быстрому утомлению и снижению уровня работоспособности человека на предприятии. Продолжительное воздействие этого вредного фактора

приводит к возникновению проблем со зрением. Нормы светового и цветового контраста регламентируются СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Для работы за компьютером (категория работ Б1) нормы контраста представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5. – Требования к освещению рабочего помещения

Характеристика зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона
Высокой точности	Малый	Средний
	Средний	Темный

Для изменения светового и цветового контраста необходимо отрегулировать уровень естественной и искусственной освещенности рабочего помещения или заменить текущее оборудование (мониторы) на более качественные, которые позволят сгладить контраст.

3.3.4. Повышенный уровень шума на рабочем месте

Превышение уровня шума на рабочем месте создает психологический и физический стресс, снижающий производительность, концентрацию, внимание, повышает утомляемость. Повышение уровня шума на рабочем месте возможно из-за фона, создаваемого работой персональных компьютеров, наличия центральной системы вентиляции и кондиционирования воздуха.

Предельно допустимые показатели уровня звука, звукового давления регламентируются СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003. Для команды разработчиков программного обеспечения, эти показатели представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6. – Предельно допустимые и допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные скорректированные по А уровни звука в помещениях производственных, жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 [26].

Помещения офисов, рабочие помещения и кабинеты административных зданий, научно-исследовательских организаций	Назначение помещений или территорий	Время суток, ч	Для источников постоянного шума								Для источников непостоянного шума		
			Уровни звукового давления дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровень звука корректированный по А, L _A , дБ	Эквивалентный корректированный по А уровень звука L _{Aэкв} , дБ	Максимальный корректированный по А уровень звука L _{Amax} , дБ
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000			
	86	-											
	71												
	61												
	54												
	49												
	45												
	42												
	40												
	38												
	50												
50													
65													

Для снижения уровня шума в производственном помещении можно использовать защитные звукопоглощающие экраны. Для любого оборудования необходимо регулярно проводить техническое обслуживание, так как загрязнение может увеличить производимый шум.

3.3.5. Длительное сосредоточенное наблюдение

При разработке алгоритма необходим контроль процесса формирования популяций и значений целевых функций, который вызывает зрительную и умственную нагрузку на организм человека.

При умственной нагрузке необходима длительность сосредоточенного внимания, выраженная ответственность, плотность сигналов и сообщений в единицу времени по МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности» [16]. Оказывает угнетающее влияние на психическую деятельность ухудшаются функции внимания (объем, концентрация, переключение), памяти

(кратковременной и долговременной), восприятия (появляется большое число ошибок).

При зрительной нагрузке необходима высокая координация сенсорных и моторных элементов зрительной системы. Вызывает головную боль, ухудшение зрения, астенопию – патологического состояния, связанного с быстрым переутомлением глаз.

Для устранения накопленной усталости и нагрузки на организм человека необходимо выполнять комплекс физических упражнений на координацию движений, концентрацию внимания, комплекс упражнений на глаз, использовать методику психической саморегуляции.

3.3.6. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий

Вследствие работы с электрооборудованием и компьютерами возникает вероятность прохождения электрического тока через тело человека. Опасное и вредное воздействия на людей электрического тока проявляются в виде электротравм (судороги, остановка сердца, остановка дыхания, ожоги и др.) и заболеваний. Результат воздействия тока на человека зависит от величины силы тока, его рода и частоты, продолжительности воздействия и множества других факторов. Причиной поражения электрическим током в условиях лаборатории могут стать случайное прикосновение к токоведущим частям или появление напряжения на металлических частях оборудования.

Под электробезопасностью подразумевается система технических и организационных мероприятий, направленных на защиту людей от опасного воздействия электрического тока, статического электричества и электромагнитного поля. Значения вышеперечисленных факторов регулируются ГОСТ Р 58698-2019.

Таблица 3.7. – Пороги напряжения прикосновения для реагирования

Характер реагирования	Пороги напряжения, В
Реакция испуга	2 (переменный ток)
	8 (постоянный ток)
Мышечная реакция	20 (переменный ток)
	40 (постоянный ток)

Меры предосторожности для основной защиты от поражения электрическим током:

- использование защитных ограждений или оболочек;
- размещение опасных для жизни и здоровья человека участков электропроводов и приборов вне зоны досягаемости рукой;
- ограничение напряжения или питание должно осуществляться от безопасного источника питания;
- автоматическое отключение питания (защитное устройство, которое будет отключать систему, питающую электрическое оборудование в случае замыкания)

Защита от поражения электрическим током может осуществляться посредством системы безопасного сверхнизкого напряжения (БСНН) и защитного сверхнизкого напряжения (ЗСНН).

3.4. Экологическая безопасность

Программное обеспечение не оказывает влияния на окружающую среду, так как его разработка и использование происходит при помощи персональных компьютеров, однако использование самого компьютера может оказывать влияние на окружающую среду.

ПЭВМ состоит из различных деталей, которые имеют различный класс опасности. Ртутные лампы, материнские платы и аккумуляторы содержат свинец, литий, кадмий; материнские платы содержат олово; трансформаторы содержат обмотку из меди, а также железный сердечник; преобразователи и проводка содержат алюминий магний; корпус состоит из

металла и пластика. Класс опасности и предельно-допустимая концентрация указаны в таблице 3.8 [27].

Таблица 3.8. – Предельно-допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	Формула	Величина ПДК, мг/м ³	Класс опасности
Ртуть	Hg	0,01/0,05	I
Литий и его неорганические соединения		0,02	I
Свинец и его неорганические соединения		-/0,05	I
Олово фторид	FSn	1/0,2	II
Железо	Fe	-/10	IV
Полиэтиленхлорид	$[C_2H_3Cl]_x$	6	III
Алюминий магнит	AlMg	-/6	IV

Для оказания наименьшего влияния на окружающую среду, необходимо проводить специальную процедуру утилизации ПЭВМ и оргтехники, при которой разбирается, сортируется и более 90% отправится на вторичную переработку и менее 10% будут отправлены на свалки. При этом она должна соответствовать процедуре утилизации ГОСТ Р 53692-2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов» [20].

3.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

3.5.1. Пожар

Причинами возникновения пожара при работе с ЭВМ может служить короткое замыкание проводки, в том числе в следствии неисправности прибора, сильный перегрев ЭВМ в результате его использования в режиме повышенной нагрузки.

Для предотвращения возникновения пожара, необходимо проводить периодическую своевременную диагностику оборудования и электрической проводки, соблюдать нормы при работе с ЭВМ.

На основании Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. От 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" помещения учебной аудитории оборудованы следующими средствами пожаротушения: огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом, также аудитория оборудована системой противопожарной

сигнализации [22]. Помещение аудитории категории помещения группы – В4, возможный класс пожара – Е. [22].

При появлении возгорания необходимо сообщить в службу пожарной охраны адрес и место возникновения пожара.

3.6. Выводы по разделу

В данном разделе были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, аспекты производственной и экологической безопасности, а также рассмотрен вопрос безопасности рабочей группы при чрезвычайном происшествии. В результате можно сделать вывод о работнике:

- Имеет нормальную продолжительность рабочего времени;
- Обеспечен нормальными условиями труда для выполнения норм выработки;
- Имеет, предусмотренные ТК РФ, выходные и праздничные дни;
- Имеет категорию тяжести труда - Ia (производится сидя, сопровождается незначительными физическими усилиями), согласно [13];
- Относится к первой группе по электробезопасности [24];

А также о рабочей зоне:

- Рабочая зона имеет оптимальные значения показаний микроклимата согласно таблице 3.2;
- Фактические показатели освещения совпадают с оптимальными в таблице 3.4;
- Мониторы ЭВМ имеют оптимальную световую и цветовую контрастность;
- Соблюдаются меры предосторожности для основной защиты от поражения электрическим током;
- Вышедшие из строя ПЭВМ утилизируются согласно ГОСТ Р 53692-2009;
- Помещения учебной аудитории оборудованы положенными средствами пожаротушения;
- Рабочая зона имеет категорию помещения по электробезопасности согласно ПУЭ – без повышенной опасности [23];

- Помещение аудитории категории помещения группы – В4 (пожароопасное);
- Помещение аудитории находится в объекте, относящийся к IV категории по оказанию негативного воздействия на окружающую среду [25].

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1. Введение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской программы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро инженер сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель данной ВКР – создание инструмента для анализа перфузионных карт пациентов на основе ОФЭКТ миокарда и классификации их на норму, инфаркт миокарда, ишемию.

4.2. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.2.1. Анализ конкурентных технических решений

Разработанное решение не имеет аналогичных разработок, поэтому была рассмотрена альтернатива – ручной анализ полярных карт врачом-кардиологом.

Детальный анализ необходим, т.к. разработанное решение на основе машинного обучения и его аналог – ручной анализ полярных карт имеют свои как достоинства, так и недостатки. В таблице 4.1 показано сравнение эффективности ручного анализа и разработки данной ВКР с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 4.1. – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _{к1}	К _ф	К _{к1}
1	2	3	4	6	7
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Время анализа	0,19	5	2	0,95	0,38
2. Качество анализа	0,26	4	5	1,04	1,3
3. Простота использования	0,19	5	1	0,95	0,19
4. Гибкость анализируемых данных	0,15	1	4	0,15	0,6
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Стоимость одного исследования	0,21	5	3	1,05	0,63
Итого	1	20	15	4,14	3,1

Расчет конкурентоспособности, на примере времени анализа, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i * B_i$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

4.2.2. SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2. – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
C1. Быстрый анализ полярных карт	Сл1. Зависимость от определенного формата входных данных
C2. Для работы не требуется специалист	Сл2. Возможно получение некорректного медицинского заключения.
C3. Высокая точность предсказания	Сл3. Нет возможности провести дополнительный анализ
Возможности	Угрозы
B1. Использование инструмента в качестве второго мнения для опытных врачей-радиологов	У1. Замена исследований ОФЭКТ миокарда более новым методом исследования болезней сердца
B2. Использование в качестве тренажера для малоопытных сотрудников	У2. Появление более функциональных аналогов и более ранний их выход на рынок.
B3. Автоматизация процесса анализа полярных карт	

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.3–4.6.

Таблица 4.3. – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		C1	C2	C3
	B1	+	-	+
	B2	0	+	+
	B3	0	+	+

Таблица 4.4. – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	+	+	+
	B2	-	+	-
	B3	-	+	-

Таблица 4.5. – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта				
Угрозы проекта		C1	C2	C3
	Y1	-	-	-
	Y2	+	+	-

Таблица 4.6. – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	Y1	-	-	-
	Y2	+	-	+

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4.7.

Таблица 4.7. – Итоговая таблица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта С1. Быстрый анализ полярных карт. С2. Для работы не требуется специалист. С3. Высокая точность предсказания.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта Сл1. Зависимость от определенного формата входных данных. Сл2. Возможно получение некорректного медицинского заключения. Сл3. Нет возможности провести дополнительный анализ.
Возможности В1. Использование в инструмента	Направления развития В1С1С3. Для врача-радиолога данный инструмент позволит	Сдерживающие факторы В1Сл1Сл2Сл3. При анализе полярных карт, специалисту

качестве второго мнения для опытных врачей-радиологов. В2. Использование в качестве тренажера для малоопытных сотрудников. В3. Автоматизация процесса анализа полярных карт.	моментально получить второе мнение, причем его точность высокая, что позволит специалисту сделать разумный выбор за меньшее время. В2С2С3. Для начинающих врачей-радиологов данный инструмент может использоваться как тренажер, который позволяет проводить анализ перфузионных карт без участия опытного врача-радиолога, при этом гарантирует высокую точность. В3С2С3. Данный инструмент позволяет автоматизировать анализ перфузионных карт, что сократит время работы врача-радиолога в конце рабочего дня, ему останется только убедиться в уже готовом результате.	может потребоваться дополнительное исследование, которое не проводится в рамках данного инструмента, однако и провести его анализ не получится средствами приложения, так как оно жестко привязано к определенному формату входных данных. Также возможно получение ложного медицинского заключения, что заставит специалиста исправлять его. В2Сл2. Генерация некорректного заключения анализа перфузионной карты пациента негативно скажется на успеваемости начинающего врача-радиолога, так как он будет получать ложную информацию. В3Сл2. При автоматической работе разработанного инструмента, могут возникать ложные заключения, что приводит к риску некорректно поставленного диагноза.
Угрозы У1. Замена исследований ОФЭКТ миокарда более новым методом исследования болезней сердца. У2. Появление более функциональных аналогов и более ранний их выход на рынок.	Угрозы развития У1С1С2С3. Если на смену сегодняшним исследованиям ОФЭКТ миокарда придут новые методы, то данный инструмент устареет и будет совсем не актуальным. У2С1С2. При появлении аналогов разработанный инструмент не потеряет своих свойств, однако точность его работы может стать меньше на фоне других алгоритмов.	Уязвимости: У2Сл1Сл3. Потенциальные аналоги могут иметь более развитый функционал, что позволит работать с различными входными данными, а также проводить некоторые дополнительные исследования.

В результате SWOT-анализа показано, что на преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками. Данные

недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

4.3. Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.8. – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения работ	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование экспериментов	Инженер, научный руководитель
	6	Сбор и подготовка данных	Инженер
	7	Обучение математических моделей	Инженер
	8	Разработка графического интерфейса	
	9	Обработка полученных данных	Инженер

Обобщение и оценка результатов	10	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	11	Составление пояснительной записки	Инженер

4.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4.1)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4.3):

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}}, \quad (4.3)$$

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

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

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

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}}$ – общее количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – общее количество праздничных дней в году (2020 год).

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.9.

Таблица 4.9. – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож\ i}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	3	0	3	3
2. Календарное планирование выполнения работ	1	3	3	4	2	3,5	2,75	5
3. Обзор научной литературы	-	4	-	8	0	6	6	8
4. Выбор методов исследования	-	4	-	7	0	5,5	5,5	12
5. Планирование экспериментов	2	6	4	8	3	7	5	7

6. Сбор и подготовка данных	-	15	-	22	0	18,5	18,5	27
7. Обучение математических моделей	-	10	-	13	0	11,5	11,5	16
8. Разработка графического интерфейса	-	4	-	7	0	5,5	5,5	8
9. Обработка полученных данных	-	7	-	12	0	9,5	9,5	19
10. Оценка правильности полученных результатов	2	3	4	5	3	4	3,5	6
11. Составление пояснительной записки	-	6	-	8	0	7	7	9
Итого:	7	62	15	94	11	78	78	120

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 4.10).

Таблица 4.10. – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	3												
2	Календарное планирование выполнения работ	Исп1 Исп2	5												
3	Обзор научной литературы	Исп2	8												
4	Выбор методов исследования	Исп2	12												
5	Планирование экспериментов	Исп1 Исп2	7												
6	Сбор и подготовка данных	Исп2	27												

№	Вид работ	Исп	T _{кi} кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
7	Обучение математических моделей	Исп2	16												
8	Разработка графического интерфейса	Исп2	8												
9	Обработка полученных данных	Исп2	19												
10	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	6												
	11. Составление пояснительной записки		9												

Примечание:



– Исп. 1 (научный руководитель), – Исп. 2 (инженер)

4.4. Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

4.4.1. Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Данная часть включает затрат всех материалов, используемых при получении образца, нанесенного с покрытием Zr-Y-O. Результаты расчета затрат представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11. – материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	340	4	1 200
Картридж для лазерного принтера	3 490	1	3 490
Итого:			8 290

4.3.2. Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.5)$$

где n — срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \cdot m, \quad (4.6)$$

где И – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

При выполнении научно-исследовательского проекта использовался ПЭВМ – Asus FX570UD. Срок полезного использования данного ноутбука по паспорту составляет 3 года.

Рассчитаем норму амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 3 года:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0,33.$$

Учитывая, что данный ноутбук работал в общей сумме 2,5 месяцев, находим общую сумму амортизационных отчислений следующим образом:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 53000}{12} \cdot 2,5$$

Таблица 4.12. – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	H_A , %	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Ноутбук Asus FX570UD	1	3	3,19	0,33	53000	5684

4.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (4.7)$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 4.9).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб} \quad (4.8)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

Должностной оклад работника за месяц:

- для руководителя:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{np} + k_{\text{д}}) \cdot k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \quad (4.10)$$

- для инженера:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{np} + k_{\text{д}}) \cdot k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \quad (4.11)$$

где $Z_{\text{мс}}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равен 0,3; $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 4.13. – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 4.14. – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$З_{мс}$, руб	$k_{пр}$	k_d	k_p	$З_m$, руб	$З_{дн}$, руб	T_p б раб. дн.	$З_{осн}$, руб
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	11	23620,3
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	78	135961,8
Итого:								159582,1

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0,15 \cdot 23620,3 = 3543,05 \text{ руб.} \quad (4.12)$$

– для инженера:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} = 0,15 \cdot 135961,8 = 20394,3 \text{ руб.,} \quad (4.13)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

4.4.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$З_{внеб} = k_{внеб} (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 * (23620,3 + 3543,05) = 8149 \text{ руб.} \quad (4.14)$$

– для инженера:

$$З_{внеб} = k_{внеб} (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 * (135961,8 + 20394,3) = 46906,8 \text{ руб.,} \quad (4.15)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2023 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

4.4.5. Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать, ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для расчета накладных расходов.

Таблица 4.15. – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
5684	8290	159582,1	23937,4	55055,8	252549,3

Величина накладных расходов определяется по формуле (4.16):

$$З_{\text{накл}} = 252549,3 \cdot k_{\text{нр}} = 50509,89 \quad (4.16)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

4.4.6. Бюджет ВКР

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости ВКР «Исследование миокардиальной перфузии методами машинного обучения и искусственного интеллекта» по форме, приведенной в таблице 4.16. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 4.16. – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
		Текущий Проект	Исп.1	
1	Материальные затраты НИР	8290	8290	Пункт 4.2.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	5684	22736	Пункт 4.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	159582,1	347171	Пункт 4.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	23937,4	52076	Пункт 4.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	55055,8	119774	Пункт 4.2.3.4
6	Накладные расходы	50 509,89	22001,9	Пункт 4.2.3.5
Бюджет затрат НИР		303 059,19	572048,9	Сумма ст. 1- 6

4.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат двух вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносится финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной ВКР рассмотрен единственный аналог – ручной анализ перфузионных карт миокарда врачом-кардиологом.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.17)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 303\,059,19$ руб, $\Phi_{\text{исп.1}} = 572048,88$ руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{303\,059,19}{572048,9} = 0.53$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{572048,9}{572048,9} = 1$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по двум вариантам разработки текущий проект с большим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 4.17).

Таблица 4.17. – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2
1. Время анализа одного исследования	0,15	5	2

2. Точность анализа	0,3	4	5
3. Простота использования	0,15	5	3
4. Гибкость исходных данных	0,2	2	5
5. Стоимость анализа одного исследования	0,2	5	3
ИТОГО	1	4,1	3,85

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,15 * 5 + 0,3 * 4 + 0,15 * 5 + 0,2 * 2 + 0,2 * 5 = 4,1$$

$$I_{p2} = 0,15 * 2 + 0,3 * 5 + 0,15 * 3 + 0,2 * 5 + 0,2 * 3 = 3,85$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{p-\text{исп.}i}}{I_{\text{финр}}^{\text{п-исп.}i}}. \quad (20)$$

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{4,1}{0,46} = 8,91, \quad I_{\text{исп.2}} = \frac{3,85}{1} = 3,85$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 4.18).

Таблица 4.18. – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,46	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,1	3,85
3	Интегральный показатель эффективности	8,91	3,85
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,43

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентом.

4.6. Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 120 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 78 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 11 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 303 059,19 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,53, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,1, по сравнению с 3,85;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 8,91, по сравнению с 3,85, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

Заключение

В рамках данной ВКР было разработан инструмент, позволяющий анализировать перфузионные карты миокарда и определять развитие сердечных заболеваний, таких как инфаркт или ишемия. Точность предсказания каждой из полученных моделей достаточно высокая и приведена ниже:

1. Точность определения здоровых людей составляет 0,9;
2. Точность определения пациентов, больных ишемией составляет 0,81;
3. Точность определения пациентов, больных инфарктом составляет 0,87.

Также было разработано удобное десктопное приложение, которое было интегрировано с разработанными моделями и позволяет взаимодействовать с ними и анализировать перфузионные карты.

Список литературы

1. Xeleris 4 DR // GE HealthCare URL:
<https://www.gehealthcare.ru/products/molecular-imaging/nuclear-medicine/xeleris-4-dr> (дата обращения: 16.05.2022).
2. Практическое руководство по сцинтиграфии сердца / Ю. Б. Лишманов, К. В. Завадовский, Ю. В. Варламова [и др.]. – Томск : Издательство научнотехнической литературы, 2018. – 168 с. – EDN YRNNDN.
3. Перфузионная сцинтиграфия и ОЭКТ миокарда // Государственное автономное учреждение здравоохранения "Межрегиональный клиникодиагностический центр" URL:
<https://www.icdc.ru/ru/tandd/diagnostic/radio/1111-klinicheskie-rekomendatsii> (дата обращения: 24.12.2022).
4. Памятка для пациентов, направленных на однофотонную эмиссионную компьютерную томографию миокарда перфузионную с ^{99m}Tc-технетрилом (МИБИ) с нагрузочной пробой (без отмены бета-блокаторов) // Cardio-tomsk URL:
<https://www.cardio-tomsk.ru/storage/doc/clinica/Подготовка%20к%20исследованиям/Подготовка%20ОФЭКТ%20ЛРНМИ.pdf> (дата обращения: 07.01.2023).
5. Метод итеративной реконструкции // Studme URL:
https://studme.org/339252/meditsina/metod_iterativnoy_rekonstruktsii (дата обращения: 24.12.2022).
6. Совмещенная однофотонная эмиссионная и рентгеновская компьютерная томография сердца: методические аспекты / К. В. Завадовский, М. О. Гуля, В. В. Саушкин [и др.] // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2016. – Т. 97, № 4. – С. 235-242. – EDN WKNXDD.
7. Machine Learning Algorithms to Distinguish Myocardial Perfusion SPECT Polar Maps // frontiers URL:
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fcvm.2021.741667/full> (дата обращения: 07.01.2023).

8. Robert E. Schapire Random forests // Machine Learning. - 2001. - №45. - С. 5-32.
9. CatBoost // catboost.ai URL: <https://catboost.ai/> (дата обращения: 15.04.2023).
10. component analysis: a review and recent developments // National Library of Medicine URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4792409/> (дата обращения: 15.04.2023).
11. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913> (дата обращения: 12.03.2023);
12. РД 153-34.0-03.298-2001 Типовая инструкция по охране труда для пользователей персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) в электроэнергетике // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200031404> (дата обращения: 12.03.2023);
13. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. 2021. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 12.03.2023);
14. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 12.03.2023);
15. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум. Общие требования безопасности» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606> (дата обращения: 12.03.2023);

16. МР 2.2.9.2311-07 «Состояние здоровья работающих в связи с состоянием производственной среды» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200072234> (дата обращения: 12.03.2023);
17. ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения: 12.03.2023);
18. ГОСТ Р 58698-2019 «Защита от поражения электрическим током» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200170001> (дата обращения: 12.03.2023).
19. Трудовой кодекс (ТК РФ) «Рабочее время» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12125268/> (дата обращения: 12.03.2023);
20. ГОСТ Р 53692-2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200081740> (дата обращения: 12.03.2023);
21. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности;
22. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 12.03.2023);
23. «Правила устройства электроустановок» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. – Режим

- доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200030216> (дата обращения: 12.03.2023);
24. Приказ «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573264184> (дата обращения: 12.03.2023);
25. Постановление «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573292854> (дата обращения: 12.03.2023);
26. СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200084097> (дата обращения: 12.03.2023);
27. ГН 2.2.5.3532-18 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны" // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/557235236> (дата обращения: 12.03.2023)