**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»**

**(СПбГЭТУ “ЛЭТИ”)**

|  |  |
| --- | --- |
| **Направление** | 09.04.01 Информатика и вычислительная техника |
| **Программа** | Программное обеспечение информационных и вычислительных систем |
| **Факультет** | ФКТИ |
| **Кафедра** | ВТ |
| *К защите допустить* |  |
| Зав. кафедрой | Куприянов М. С. |

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРА**

**Тема: Автоматизация процесса анализа спектральных**

**графиков тремора рук**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Студент |  | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |  | Боевец А. А. |
|  |  | подпись |  |  |
| Руководитель | д.т.н., профессор | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |  | Шичкина Ю. А. |
|  |  | подпись |  |  |

Санкт-Петербург

2023

**ЗАДАНИЕ**

**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | Утверждаю | | |
|  | | Зав. кафедрой ВТ | | |
|  | | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Куприянов М. С. | | |
|  | | “\_\_\_” \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_ г. | | |
| Студент | Боевец А. А. | Группа |  | 7308 |
| Тема работы:  Место выполнения ВКР:  Исходные данные (технические требования):  Содержание ВКР  Перечень отчетных материалов:  Дополнительные разделы: | | | | |
| Дата выдачи задания | | Дата представления ВКР к защите | | |
| “\_\_\_” \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_ г. | | “\_\_\_” \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_ г. | | |
| Студент |  | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |  | Боевец А. А. |
|  |  | подпись |  |  |
| Руководитель | д.т.н., профессор | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |  | Шичкина Ю. А. |
|  |  | подпись |  |  |

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН ВЫПОЛНЕНИЯ**

**ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | Утверждаю | | |
|  | | Зав. кафедрой ВТ | | |
|  | | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Куприянов М. С. | | |
|  | | “\_\_\_” \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_ г. | | |
| Студент | Боевец А. А. | Группа |  | 7308 |
| Тема работы: Автоматизация процесса анализа спектральных графиков тремора рук | | | | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование работ | Срок выполнения |
| 1 | Обзор литературы по теме работы | 01.02.2023 - 07.02.2023 |
| 2 | Изучение методов анализа спектральных графиков тремора рук | 08.02.2023 - 28.02.2023 |
| 3 | [Реализация и тестирование методов анализа спектральных графиков](#_aci07yhpd0a) тремора рук | 01.03.2023 - 30.04.2023 |
| 4 | Составление бизнес-плана по коммерциализации результатов НИР магистранта | 01.05.2023 - 14.05.2023 |
| 5 | Оформление пояснительной записки | 15.05.2023 - 21.05.2023 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Студент |  | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |  | Боевец А. А. |
|  |  | подпись |  |  |
| Руководитель | д.т.н., профессор | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |  | Шичкина Ю. А. |
|  |  | подпись |  |  |

**РЕФЕРАТ**

Пояснительная записка содержит 82 страниц, 14 рисунков, 13 таблиц и 29 источника.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АНАЛИЗА, ТРЕМОР РУК, СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРЕМОРА, АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ ГРАФИКОВ

Объектом исследования являются спектральные графики тремора рук.

Предметом исследования являются методы анализа спектральных графиков тремора рук.

Цель работы - реализация анализа спектральных графиков тремора рук.

Метод выполнения работы определяется следующей последовательностью задач:

1. Сравнительный анализ методов исследования тремора.

2. Разработка алгоритмов анализа сравнения графиков тремора рук.

3. Создание программного модуля для анализа спектральных графиков.

4. Тестирование разработанной программы.

В результате была решена задача разработки программы, направленной на автоматизацию процесса анализа спектральных графиков тремора рук.

**ABSTRACT**

The explanatory note contains 79 pages, 14 figures, 13 tables and 24 sources.

AUTOMATION OF THE ANALYSIS PROCESS, HAND TREMOR, SPECTRAL CHARACTERISTICS OF TREMOR, ANALYSIS OF SPECTRAL GRAPHS

The object of the study is spectral graphs of hand tremor.

The subject of the study is the methods of analyzing spectral graphs of hand tremor.

The purpose of the work is to implement the analysis of spectral graphs of hand tremor.

The method of performing the work is determined by the following sequence of tasks:

1. Comparative analysis of tremor research methods.

2. Development of algorithms for analyzing the comparison of hand tremor graphs.

3. Creation of a software module for the analysis of spectral graphs.

4. Testing of the developed program.

As a result, the task of developing a program aimed at automating the process of analyzing spectral graphs of hand tremor was solved.

СОДЕРЖАНИЕ

[Определения, обозначения и сокращения 9](#_Toc134116753)

[ВВЕДЕНИЕ 10](#_Toc134116754)

[1. Особенности тремора рук и методы исследования 13](#_Toc134116755)

[1.1 Характеристики тремора 13](#_Toc134116756)

[1.2 Методы исследования тремора 14](#_Toc134116757)

[1.2.1 Оценка визуально-моторного тремора 14](#_Toc134116758)

[1.2.2 Электромиография 15](#_Toc134116759)

[1.2.3 Акселерометры 17](#_Toc134116760)

[1.2.4 Гироскопы 18](#_Toc134116761)

[1.2.5 Видеоролики 19](#_Toc134116762)

[1.2.6 Носимый ортез 20](#_Toc134116763)

[1.2.7 Тензометрический треморограф 20](#_Toc134116764)

[1.3 Процедура измерения параметров тремора с помощью тензометрического треморографа 22](#_Toc134116765)

[1.4 Поведение амплитуды спектральных составляющих 23](#_Toc134116766)

[2 Методы анализа спектральных графиков тремора рук 27](#_Toc134116767)

[2.1 Метод преобразования сигнала 27](#_Toc134116768)

[2.2 Методы сглаживания рядов 28](#_Toc134116769)

[2.3 Методы сравнения спектральных графиков тремора рук 34](#_Toc134116770)

[3 Разработка программы для сравнения спектральных графиков тремора рук 40](#_Toc134116771)

[3.1 Архитектура программы 40](#_Toc134116772)

[3.2 Используемые библиотеки и инструменты 41](#_Toc134116773)

[3.3 Разработка модуля анализа спектральных графиков 42](#_Toc134116774)

[3.3.1 Функция чтения и обработки данных 42](#_Toc134116775)

[3.3.2 Функция анализа данных 43](#_Toc134116776)

[3.3.2.1 Методы сглаживания 43](#_Toc134116777)

[3.3.2 Методы сравнений спектральных графиков 47](#_Toc134116778)

[3.3.4 Функция для визуализации результатов 50](#_Toc134116779)

[4 Экспериментальное исследование 51](#_Toc134116780)

[4.1 Здоровый пациент 51](#_Toc134116781)

[4.2 Пациент с отклонениями 54](#_Toc134116782)

[5 Составление бизнес-плана по коммерциализации результатов исследования 57](#_Toc134116783)

[5.1 Резюме проекта 57](#_Toc134116784)

[5.2 Описание продукции 57](#_Toc134116785)

[5.3 Анализ рынка сбыта продукции 58](#_Toc134116786)

[5.4 Анализ конкурентов 59](#_Toc134116787)

[5.5 План маркетинга 61](#_Toc134116788)

[5.5.1 План продаж 61](#_Toc134116789)

[5.5.2 Стратегия маркетинга 62](#_Toc134116790)

[5.6 План производства 64](#_Toc134116791)

[5.6.1 Инвестиционные затраты 64](#_Toc134116792)

[5.6.2 Затраты по статье «материалы» 65](#_Toc134116793)

[5.6.3 Затраты на оплату труда 66](#_Toc134116794)

[5.6.4 Общепроизводственные затраты 67](#_Toc134116795)

[5.6.6 Себестоимость проекта 70](#_Toc134116796)

[5.7 Финансовый план 72](#_Toc134116797)

[5.7.1 План прибыли и убытков 72](#_Toc134116798)

[5.7.2 План движения денежных средств 73](#_Toc134116799)

[5.8 Вывод 75](#_Toc134116800)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 76](#_Toc134116801)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 78](#_Toc134116802)

[ПРИЛОЖЕНИЕ А 82](#_Toc134116803)

# Определения, обозначения и сокращения

В данной работе применяются следующие термины с соответствующими определениями:

Гиперкинез – патологические, непроизвольные движения;

БПФ (FFT – Fast Fourier Transform) – быстрое преобразование Фурье;

ПМ – программный модуль;

ПТ – патологический тремор;

ФТ – физиологический тремор;

ЦНС – центральной нервной системы;

ЭМГ – электромиография;

DFT – Discrete Fourier Transform – дискретное преобразование Фурье;

DTW – Dynamic Time Warping - динамическое трансформация временной шкалы;

EMA - Exponential Moving Average – экспоненциальное скользящее среднее;

SMA - Simple Moving Average – простое скользящее среднее.

# ВВЕДЕНИЕ

Тремор – это синдром, являющийся неврологическим признаком, который указывает на ненормальное состояние центральной нервной системы, например, отделов мозга, связанных с движением. Тремор проявляется в виде непроизвольных ритмических колебаний различных участков тела, возникающими из-за повторяющегося сокращения и расслабления мускулатуры. Обычно синдром охватывает руки, голову, стопы. Тремор может быть единственной физической аномалией (изолированный тремор), или может сочетаться с другими неврологическими или системными признаками (комбинированный тремор).

Физиологический тремор (ФТ) можно наблюдать у любого здорового человека. Он представляет собой высокочастотное (8-12 Гц) низкоамплитудное дрожание в руках или любой другой части тела, которое внешне никак не определяется (за исключением случаев усиленного физического тремора).

Патологический тремор (ПТ) в отличие от ФТ виден невооруженным глазом и характеризуется более высокой амплитудой, низкой (реже высокой) частотой и наличием провоцирующих или усиливающих его условий [1].

Зарегистрировать и оценить тремор на ранних стадия можно с помощью треморографа. Применение метода треморографии за последние годы показало свою эффективность в диагностике различных вариантов патологического тремора.

Особую трудность вызывает процесс определения тремора рук из-за однотипного его проявления, особенно в случаях, когда колебания незаметны для глаз человека. Поэтому остро стоит вопрос анализа спектральных графиков тремора рук, чтобы изучить характеристики тремора рук [2].

Объектом исследования являются спектральные графики тремора рук.

Предметом исследования являются методы анализа спектральных графиков тремора рук.

Целью выпускной квалификационной работы магистра является разработка программы для автоматизации анализа спектральных графиков тремора рук.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Произведен сравнительный анализ методов исследования тремора.

2. Разработаны алгоритмы анализа графиков тремора рук.

3. Создана программа для анализа спектральных графиков.

4. Протестирована разработанная программа.

Работа состоит из четырех разделов.

В первом разделе приведена краткая информация о треморе и его видах, характеристиках и методах исследования тремора рук, а также описана процедура измерения параметров непроизвольных колебаний и результаты измерения параметров у пациентов.

Второй раздел содержит информацию об методах анализа данных: преобразование сигнала, методы сглаживания, а также методы сравнения спектральных графиков.

Третий раздел посвящен разработке программы по автоматизации процесса анализа спектральных графиков тремора рук, а именно чтение исходных данных, методы анализа спектральных графиков (сглаживание и сравнение графиков) и отрисовка результатов.

В четвертом разделе составляется бизнес-план по коммерциализации результатам магистерской работы.

Автоматизация процесса анализа спектральных графиков тремора рук у пациентов избавит врачей от рутинной работы, позволит обнаруживать особенности в движении рук, незаметные для глаз человека, повысит точность диагноза, а также уменьшит число медицинских ошибок.

# Особенности тремора рук и методы исследования

## 1.1 Характеристики тремора

Тремор является одним из наиболее частых двигательных расстройств во врачебной практике. Трудности в клинической диагностике тремора обусловлены существованием множества различных вариантов тремора, а также относительно однотипным проявлением тремора при разных поражения нервной системы.

Патологический тремор является наиболее частым гиперкинезом и может возникать как изолированно, так и в сочетании с другими симптомами при различных поражениях нервной системы, при эндокринных, соматических заболеваниях и интоксикациях. Также у каждого человека существует физиологический тремор, который невидим невооруженным глазом из-за незначительной амплитуды, но имеет определенную частоту. При определенных состояниях, например, под действием адреналина, выделяющегося при страхе или волнении, а также при приеме лекарственных средств, физиологический тремор усиливается, становится заметным, но его частота сохраняется [3].

Частота - важнейшая характеристика тремора, поскольку именно частотные характеристики позволяют провести диагностику физиологических и патологических видов тремора, сделать вывод о механизмах генерации тремора при разных формах неврологической патологии и определить лечебную тактику. Таким образом спектральных анализ тремора может быть использован для объективной оценки непроизвольных движений [4].

## Методы исследования тремора

За последние десятилетия было разработано несколько датчиков для мониторинга и анализа тремора. Они предоставляют информацию, которая дополняет клиническую оценку и часто определяет методы лечения, отсюда их критическая роль в области исследования тремора.

Проблема определения местоположения источников генерации тремора внутри организма остается центральной в области исследований тремора. Для определения местоположения источников генерации тремора используются различные методы, которые позволяют не только определить местоположение генераторов тремора в мозге или в мышцах, но и помочь в выборе наиболее эффективного метода лечения.

Методики регистрации движения с использованием датчиков имеют свои достоинства и недостатки:

1. Некоторые датчики способны регистрировать только лишь определенный тип тремора, например, тремор покоя или тремор действия.
2. Датчики регистрируют лишь определенный параметр гиперкинеза, например, только частоту.
3. Датчики могут регистрировать только амплитуду в относительных единицах.

Рассмотрим некоторые методы исследования тремора.

1.2.1 Оценка визуально-моторного тремора

Оценка визуально-моторного тремора — это метод исследования тремора рук, который основан на оценке движений рук пациента во время выполнения определенных заданий.

Во время проведения данного метода пациенту предлагается выполнить несколько заданий, таких как, например, рисование кругов, линий или квадратов на бумаге, поднятие и удержание предмета, например, стакана с водой, или выполнение точных движений пальцами рук. Во время выполнения заданий, врач наблюдает за тремором рук пациента и оценивает его по шкале от 0 до 4 баллов, где 0 - отсутствие тремора, а 4 - сильный тремор.

Метод является простым и быстрым методом оценки тремора рук, который может быть использован врачом во время обычного осмотра пациента. Однако, этот метод не позволяет получить детальную информацию о характеристиках тремора, таких как частота, амплитуда и направление движения. Для получения более точной информации о треморе рук могут использоваться другие методы, такие как электромиография или акселерометрия.

* + 1. Электромиография

Электромиография (ЭМГ) — это высокоточный метод исследования периферических нервов, нервных корешков, а также мышц рук, ног, лица. ЭМГ позволяет оценить электрическую активность мышц, нервов, нервных корешков и сплетений, нервно-мышечных передатчиков (синапсов). Для этого используют специальный прибор электромиограф.

Нервы способны проводить электрический импульс к мышцам, что вызывает сокращение и движение мышечного волокна. При травмах и различных заболеваниях эта проводимость может нарушаться. Электромиограф регистрирует биопотенциалы, которые возникают при сокращении мышцы. Мышечные потенциалы снимаются электродами, усиливаются и преобразуются в таблицы и графики.

ЭМГ позволяет врачу определить точную причину симптомов, возникших у пациента, выявить повреждение нерва или мышцы, уровень этого повреждения, степень выраженности, провести динамическое обследование с целю оценки эффективности лечения, выявить есть ли нарушение в процессе передачи импульса от нерва к мышце, приводящее к патологической утомляемости мышц лица, рук, ног [5].

Из ЭМГ методик для регистрации тремора применяют поверхностную ЭМГ, игольчатую ЭМГ и длительную ЭМГ.

Поверхностная ЭМГ записывает ритмические электрические сигналы. Для этого датчики закрепляются на коже на уровне интересующей мышцы с помощью самоклеящихся одноразовых электродов или дифференциальных электродов со встроенными предварительными усилителями.  Сигнал, полученный с мышц, преобразуется программой и представляется в виде демодулированной ЭМГ. С помощью данного метода можно различать тремор и пассивные движения конечностей.

Игольчатая ЭМГ - электроды имплантируются в данную мышцу для извлечения характеристик срабатывания двигательных единиц (время срабатывания, частота срабатывания, порог набора, взаимная корреляция скоростей срабатывания сопутствующих двигательных единиц). Анализ продолжительности вспышек ЭМГ-активности может быть полезен для различения различных расстройств.

Длительная ЭМГ - данный метод удобен и весьма надежен для количественной оценки различных видов патологического тремора. Он основан на использовании переносного кассетного записывающего устройства, соединенного с накожными ЭМГ электродами, что позволяет осуществлять непрерывную 24 часовую запись ЭМГ. Длительная ЭМГ регистрация помогает решить проблему получения репрезентативных фрагментов (образцов) анализируемого тремора. При этом могут фиксироваться: частота появления тремора (пропорция времени, в течение которого регистрируется ритмическая ЭМГ активность внутри определенного периода), средняя мощность ЭМГ, частота тремора в пределах конкретного временного интервала и т.д.

Несомненным преимуществом данного метода является возможность оценки тремора у пациента, находящегося в привычной домашней обстановке, тогда как в незнакомых лабораторных условиях обычно возрастают напряжение и тревога, что влияет на результат треморографии. Дневные отклонения в выраженности тремора также могут быть адекватно оценены с помощью длительной записи ЭМГ. Метод перспективен и для объективного мониторинга результатов лечения [6].

* + 1. Акселерометры

Акселерометрия проста, относительно надежна и остается удобным методом измерения частоты и амплитуды колебаний сегментов тела. Датчики закрепляют на коже в заданных анатомических точках, после чего акселерометры регистрируют ускорение, которое отмечается при любом движении. При наличии ускорения датчик формирует конкретный электрический сигнал. Акселерометр функционирует в соответствии со вторым законом Ньютона (сила = масса \* ускорение).

В диагностическом комплексе используют аналогово-цифровой преобразователь, трансформирующий электрические сигналы в цифровые, для их ввода в компьютер при движении. Информация с регистрации ускорения конечностей при треморе отображается в текущем режиме на экране монитора.

Исследования, посвященные применению акселерометрии, показали, что, помимо частотной характеристики тремора, с её помощью можно получать и использовать волновые характеристики дрожания: отношение пиков частотных спектров, временные диаграммы тремора, анализ формы волны тремора.

Использование акселерометрии в диагностике различных видов тремора дает исследователю полную и объективную информацию о частоте, амплитуде и волновых характеристиках дрожания. Этот метод является наиболее перспективным из существующих на данный момент инструментальных способов регистрации тремора ввиду дешевизны отечественных датчиков–акселерометров и точного математического аппарата, лежащего в основе преобразования полученных цифровых данных [7].

* + 1. Гироскопы

Гироскопы используются для измерения скорости и длины шага, угла наклона суставов нижних конечностей, угловой скорости вращения туловища и углового смещения движений туловища. Их часто выбирают для внедрения в носимые экзоскелеты. Считается, что гироскопы обеспечивают долговременную стабильность, устраняя необходимость в периодической повторной калибровке.

Однако недостатком является наличие низкочастотного смещения, в основном из-за температурных воздействий. Стабильность и поведение гироскопа при колебаниях температуры необходимы для долговременной работы. Недорогие “пристегнутые” гироскопы теперь имеют внутреннюю температурную компенсацию, и поэтому вектор смещения медленно колеблется вокруг постоянного среднего значения.

* + 1. Видеоролики

Видеозапись пациентов и компьютеризированные системы видеодетекции движения являются качественными и количественными методами, полезными для анализа двигательных расстройств. Измерительные устройства, основанные на видеоизображении, эффективны при количественной оценке двигательных нарушений в клинических условиях.

Как правило, современные системы имеют не менее двух видеокамер, совмещенных с компьютером, которые могут в реальном времени представить цифровые координаты движения, отслеживаемого с помощью большого числа инфракрасных либо оптических датчиков. Метод калибровки, а также тихая комната для записи обязательны. Следует отметить, что анализ видеозаписей может занять много времени. Это может стать препятствием при оценке неврологических расстройств.

Данный метод имеет ряд преимуществ перед многими другими методами регистрации кинетического компонента тремора.

Немаловажно, что системы видеорегистрации позволяют детально анализировать ходьбу, движения туловища, положение конечностей и других частей тела и т.д. Видеозапись также является ценным учебным пособием для улучшения единообразного применения шкал оценки тремора оценщиками, имеющими разный уровень опыта в лечении двигательных расстройств.

К недостаткам большинства систем видеорегистрации тремора относятся сравнительно длительное время процедуры записи двигательных заданий и особенно обработки данных, недостаточно высокая чувствительность для регистрации мелкоамплитудного и высокочастотного тремора, а также высокая стоимость [6].

* + 1. Носимый ортез

Область применения носимых датчиков в биоинженерии и медицине быстро растет. Ожидается, что влияние носимых датчиков будет высоким в исследованиях тремора, учитывая необходимость получения точных оценок параметров тремора во время повседневной жизнедеятельности. Носимые датчики могут использоваться для мониторинга двигательных нарушений, оценки колебаний дефицита со временем и реакции на терапию. Болезнь Паркинсона является типичным расстройством, находящимся в стадии исследования.

Количественная оценка тремора может быть достигнута с помощью носимого ортеза, закрепленного на одной верхней конечности. Экзоскелет, действующий параллельно конечности, производит оценку тремора верхних конечностей в режиме реального времени. В ортез могут быть встроены гироскопы или акселерометры для мониторинга тремора.

Основными недостатками носимых ортезов являются вопросы эстетики, косметики и сложность сделать их доступными для каждого человека. Они требуют различных форм и размеров. Необходимы дальнейшие исследования для интеграции датчиков и исполнительных механизмов в удобные текстильные изделия, разработанные таким образом, чтобы их принимали пользователи.

* + 1. Тензометрический треморограф

Тензометрический треморограф, основанный на тензометрическом датчике, предназначен для оценки состояния моторного отдела центральной нервной системы (ЦНС) человека. С помощью данного прибора можно оценить активность моторной системы человека путем регистрации произвольно управляемого изометрического усилия и выделения колебаний этого усилия, как тремора [8].

Область применения приборов, основанных на тензометрических датчиках, довольная обширна. Так тензометрический треморограф может использоваться в неврологии, спортивной медицине, экологии, при профессиональном отборе и профессиональной ориентации.

К преимуществам тензометрического треморографа можно отнести:

1. регистрация и исследование тремора подвижных частей тела человека с высокой степенью достоверности;
2. высокая степень чувствительности, которая позволяет оценить влияние различных факторов на человека с связи с изменением эмоционального состояния;
3. минимальное количество времени обследования.

Актуальность прибора определяется отсутствием специализированных приборов для достоверного анализа тремора с целью оценки моторной функции ЦНС.

Для дальнейшей работы будет использован метод исследования тремора, основанный на изометрических измерениях с помощью тензометрического треморографа. Регистрация параметров тремора заключается в преобразовании смещения объекта датчиками различного рода в выходной электрический сигнал, его предварительной обработке, преобразовании в форму, удобную для хранения и последующего математического анализа. Суть данного метода заключается в регистрации произвольно управляемого усилия с выделением колебаний этого усилия, являющихся непроизвольными.

## 1.3 Процедура измерения параметров тремора с помощью тензометрического треморографа

Процедура заключается в управлении изометрическим напряжением мышц с возможностью слежения за величиной усилия по смещению меток на экране монитора.

Процедура измерения происходит следующим образом.

Испытуемый сидит перед монитором за столом, положив локти на его поверхность, и нажимает пальцами обеих рук на платформы с тензочувствительными датчиками и контролирует свои усилия на установленном перед ним мониторе. Усилие задается оператором и может быть минимальным, максимальным или удерживаться на определенном уровне. На мониторе испытуемый наблюдает метки для правой и левой рук, которые смещаются вдоль вертикальной оси экрана пропорционально прикладываемому усилию. Процедура измерения, а также метки для рук на мониторе представлены на рисунке 1.1.

Задача испытуемого формировать одинаковые усилия для правой и левой руки, то есть метки на экране должны находиться на одном уровне.

Жесткость платформ обеспечивает регистрацию усилия в изометрическом режиме, то есть без видимого смещения пальцев в точке контакта с измерительным элементом.

Усилие преобразуется в аналоговое напряжение, которое через аналого-цифровой преобразователь. Регистрация изометрического усилия производилась в течение 30 с, чтобы получить достаточное количество точек измерений для статистически достоверной оценки параметров временных последовательностей [9].

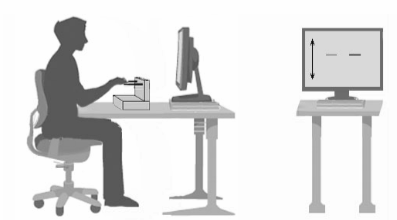


Рисунок 1.1 - Процедура измерения параметров и экран монитора

## 1.4 Поведение амплитуды спектральных составляющих

Значимые колебания фиксируются на диапазоне от 0 до 16 Гц. В норме амплитуда колебаний изометрического усилия не превышает 2% постоянной составляющей усилия. Типовые спектральные характеристики непроизвольных усилий для здорового человека и пациента с диагнозом паркинсонизм представлены на рисунке 1.2.

Поведение амплитуды спектральных составляющих здорового человека можно описать следующим образом:

1. Диапазон 0 – 2 Гц считают произвольным управлением для выполнения следящих движений. Автоматической регуляции позы соответствуют частоты в диапазоне более 2 Гц.
2. На диапазоне 2 – 3 Гц происходит снижение амплитуды спектральных составляющих.
3. В пределах диапазона 4 – 6 Гц амплитуда сохраняется на минимальном уровне
4. На диапазоне 7 – 10 Гц амплитуда возрастает к максимальным значениям (у разных испытуемых по-разному)
5. После амплитуда снижается до частот 12 – 14 Гц и удерживается на фоновом уровне.

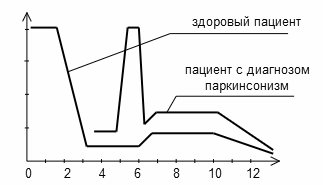


Рисунок 1.2 - Типовые спектральные характеристики непроизвольных усилий для здорового человека и пациента с диагнозом паркинсонизм

Важно заметить, что у здорового человека максимумы спектральных составляющих в диапазоне 7 – 10 Гц меньше более чем на порядок амплитуды спектральных составляющих в диапазоне 0 – 2 Гц [9].

При различных патологиях картина может изменяться. Например, при треморной форме паркинсонизма отмечается повышенный уровень активности во всём диапазоне частот, на фоне которого выделяются пиковые составляющие в диапазоне 5-6 Гц, по амплитуде превышающие произвольный компонент в диапазоне 0-2 Гц. При этой и других формах неврологических нарушений изменяется распределение спектральных составляющих и изменяется вид корреляционных функций, отражая нарушение механизмов корково-подкоркового взаимодействия [10].

Из клинических наблюдений известно, что:

1. нарушение активности мозжечка вызывает тремор в области 3–4 Гц;
2. тремор в диапазоне 5-6 Гц регистрируют при болезни Паркинсона, когда нарушено нормальное функционирование структур базальных ганглиев;
3. полагают, что спинной мозг, внутренняя олива, таламус и кора больших полушарий являются только несколькими из возможных источников тремора от 8 до 12 Гц;
4. область частот свыше 12–16 Гц, где спектральная плотность монотонно убывает, определена не циклической активностью, а интерференцией мышечных сокращений двигательных единиц, участвующих в формировании ИУ [11].

Таким образом, для того чтобы сократить и облегчить процесс определения тремора рук, возникает необходимость автоматизировать процесс анализа спектральных характеристик тремора рук. Также данный функционал позволит врачам медицинских учреждений уменьшить риск определения неправильного диагноза пациента из-за человеческого фактора.

Подобные методы применяются в медицинской практике для диагностики неврологических нарушений, однако обрабатываемые данные имеют иную природу: голосовые записи, данные о движении и рукописных узорах, результаты магнитно-резонансной и позитронно-эмиссионная томографии, результаты лабораторных анализов биологических жидкостей [12].

# 2 Методы анализа спектральных графиков тремора рук

Спектральный график тремора рук — это график, который показывает, какие частоты колебаний преобладают в треморе рук.

Анализ спектральных графиков тремора рук — это метод исследования, который используется для изучения характеристик тремора рук. Этот метод позволяет определить частоту и амплитуду колебаний, а также их длительность и характер.

Данный метод исследования может быть полезен для диагностики и оценки тяжести тремора рук, а также для оценки эффективности лечения. Он может использоваться в клинической практике, а также в научных исследованиях для изучения механизмов тремора рук и разработки новых методов лечения.

## 2.1 Метод преобразования сигнала

Для исследования основных структурных компонент нестационарных временных рядов, полученных при измерении биологических сигналов, разработаны различные методы.

Наиболее часто вне зависимости от природы сигнала используется спектральный анализ, основанный на быстром преобразовании Фурье (БПФ). БПФ позволяет получить информацию о частотных составляющих исходного сигнала. Поскольку для различных видов тремора характерен различный частотный состав, то, следовательно, по спектральной характеристике непроизвольного компонента движения можно определить тип тремора и получить информацию о состоянии центральной нервной системы человека или выявить заболевания [12].

Таким образом первым этапом анализа является применение быстрого преобразования Фурье к исследуемому временному ряду.

БПФ является более эффективным способом вычисления преобразования Фурье, чем классический метод, который требует O(n^2) операций, где n - количество отсчетов в сигнале. БПФ требует только O(nlogn) операций, что делает его более быстрым и эффективным для обработки больших объемов данных.

Для многих заболеваний имеется качественное описание изменений в частотном составе треморографического сигнала. Поэтому необходимо оценивать «похожесть» спектра, сравнивая его основные тенденции. Чтобы эти тенденции проявились более явно, и допускали автоматизацию анализа необходимо выполнить сглаживание анализируемого спектра, который также представляет собой временной ряд.

## 2.2 Методы сглаживания рядов

Сглаживание - процесс уменьшения шума в данных, и для спектральных графиков тремора рук сглаживание можно использовать для уменьшения шумовых колебаний и улучшения различения между различными компонентами тремора.

Одним из методов сглаживания спектральных графиков тремора рук является фильтрация. Фильтрация может быть проведена с использованием различных фильтров, таких как фильтр низких частот, фильтр высоких частот или фильтр скользящего среднего. Фильтр низких частот позволяет пропускать только низкие частоты, удаляя высокочастотный шум. Фильтр высоких частот, наоборот, пропускает только высокие частоты, удаляя низкочастотный шум. Фильтр скользящего среднего позволяет сгладить график, усредняя значения в пределах определенного окна.

Еще один метод сглаживания спектральных графиков тремора рук — это использование алгоритмов сглаживания кривых.

Одним из наиболее распространённых и простых методов сглаживания рядов является скользящее средней линии. Эта модель просто утверждает, что следующее наблюдение является средним значением всех прошлых наблюдений.

Несмотря на простоту, эта модель, может быть, на удивление хорошей и представляет собой хорошую отправную точку.

Рассмотрим множество n наблюдений и k - размер окна для определения среднего в любой момент времени t. Затем список скользящих средних вычисляется путем первоначального взятия среднего значения первых k наблюдений, присутствующих в текущем окне, и сохранения его в списке. Теперь окно расширяется в соответствии с условием определения скользящей средней и снова вычисляется среднее значение элементов, присутствующих в окне, и сохраняется в списке. Этот процесс продолжается до тех пор, пока окно не достигнет конца набора.

Рассмотрим пример. Дан список из пяти целых чисел arr = [1, 2, 3, 7, 9] и нам нужно вычислить скользящие средние списка с размером окна, указанным как 3. Сначала мы рассчитаем среднее значение первых 3 элементов, и оно будет сохранено как первое скользящее среднее. Затем окно будет сдвинуто на одну позицию вправо, и снова среднее значение элементов, присутствующих в окне, будет вычислено и сохранено в списке. Аналогично, процесс будет повторяться до тех пор, пока окно не достигнет последнего элемента массива. На рисунке 1.3 представлен вышеупомянутый подход [15].

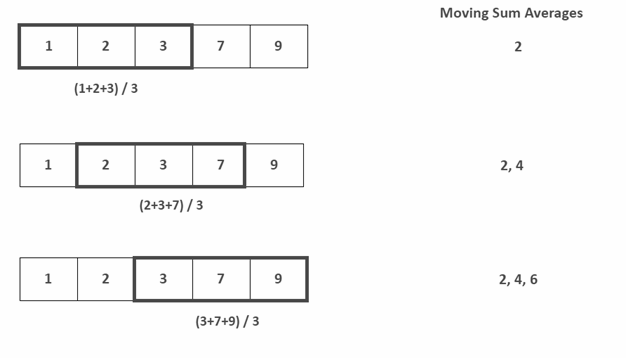


Рисунок 1.3 – Скользящее среднее

Более эффективный метод сглаживания – экспоненциальное сглаживание (EMA).

EMA рассчитывается путем взятия средневзвешенного значения наблюдений за один раз. Вес наблюдения экспоненциально уменьшается со временем. Он используется для анализа последних изменений.

Другой метол сглаживания спектральных графиков – полиномиальная аппроксимация методом наименьших квадратов.

Аппроксимация (приближение) – научный метод, состоящий в замене объектов более простыми, но близкими к исходным.

Пусть имеются экспериментальные данные, заданные таблично. Аппроксимация заключается в нахождении гладкой кривой, которая не обязательно проходит через все узловые точки, а наилучшим образом соответствует им. Для экспериментальных данных, полученных в результате измерений, актуально сглаживание случайных ошибок.

В инженерной деятельности часто возникает необходимость описать в виде функциональной зависимости связь между величинами, заданными таблично или в виде набора точек (xi , yi ), где i = 0, ..., n. Как правило, эти табличные данные получены экспериментально и имеют погрешности. При аппроксимации желательно получить относительно простую функциональную зависимость (например, многочлен), которая позволила бы «сгладить» экспериментальные погрешности, вычислять значения функции в точках, не содержащихся в исходной таблице. Эта функциональная зависимость должна с достаточной точностью соответствовать исходной табличной зависимости.

Аппроксимация методом наименьших квадратов полиномами более высоких порядков, чем первый имеет широкую область применения. Повышение степени полинома улучшает качество аппроксимации. Возникает желание применять полином более высокого порядка, однако повышение степени полинома приводит к обратному результату [13].

Для аппроксимации полиномом МНК необходимо задать степень полинома, который будет использоваться для аппроксимации. Затем необходимо найти коэффициенты полинома, которые минимизируют сумму квадратов отклонений между значениями функции и значениями полинома в заданных точках.

Следует помнить, что аппроксимация полиномом может быть неточной, особенно если функция имеет сложную форму или имеет выбросы. Поэтому перед использованием метода МНК необходимо оценить качество аппроксимации и учитывать возможные ограничения метода [14]

Третий метод – использование вейвлет-анализ. Вейвлет-анализ — это математический метод анализа сигналов, который позволяет разложить сигнал на составляющие различных частот и амплитуд. Он основан на использовании вейвлет-функций - специальных функций, которые представляют собой короткие сигналы, ограниченные во времени и по форме напоминающие волны.

Процесс вейвлет-анализа начинается с разложения сигнала на вейвлеты. Вейвлеты могут быть выбраны из набора заранее определенных функций, например, Хаар, Добеши, Мексиканская шляпа и другие. Каждая из функций имеет свои уникальные свойства, которые могут быть применены для конкретных задач анализа сигналов.

Процесс вейвлет-анализа основан на разложении исходного сигнала на базис вейвлет-функций, которые имеют различные частоты и временные масштабы. Разложение производится путем свертки исходного сигнала с каждой из выбранных вейвлет-функций, что позволяет выделить составляющие сигнала на разных временных и частотных шкалах.

После разложения сигнала на вейвлеты, можно произвести фильтрацию сигнала, выбирая только определенные частоты и удаляя остальные. Это может быть полезно, например, для удаления шума из сигнала. Также можно проводить детектирование сигналов, например, для выявления скрытых компонентов.

Для анализа полученных коэффициентов вейвлет-разложения можно использовать графики коэффициентов разложения, которые отображают распределение энергии в зависимости от частоты и времени. Это позволяет получить более детальное представление о характеристиках исходного сигнала.

Вейвлет-анализ имеет широкое применение в различных областях, включая обработку сигналов, обработку изображений, компьютерное зрение, статистический анализ и другие. Он может быть использован для анализа различных типов сигналов, включая звук, электроэнцефалограммы, электрокардиограммы, сигналы датчиков и другие [15], [16].

Еще один вариант для сглаживания графиков – использование метода сглаживания на основе сверточных нейронных сетей. Данный метод использует глубокое обучение для изучения закономерностей в данных. Этот метод может быть эффективным для улучшения качества данных и удаления шума.

Сверточные нейронные сети (CNN) имеют архитектуру, которая позволяет изучать иерархические признаки в данных. Они состоят из нескольких слоев, каждый из которых выполняет определенную функцию. Основной компонент CNN — это сверточный слой, который используется для извлечения признаков из входных данных.

Для сглаживания спектральных графиков тремора рук, сверточные нейронные сети обычно используются для уменьшения шумов в спектральном графике. Сначала данные подаются на вход сверточной нейронной сети, затем они проходят через несколько сверточных слоев, которые изучают шаблоны и закономерности в данных. Каждый сверточный слой применяет набор фильтров к входным данным, чтобы извлечь определенные признаки из спектрального графика.

Затем полученные признаки проходят через слои субдискретизации, которые уменьшают размер данных и увеличивают их вычислительную эффективность. После этого данные проходят через полносвязные слои, которые выполняют окончательную обработку данных и дают на выходе сглаженный спектральный график.

Важным аспектом метода сглаживания на основе сверточных нейронных сетей является выбор оптимальной архитектуры сети и ее параметров. Это может потребовать экспериментов с различными настройками сети и обучающих данных, чтобы найти наиболее эффективную конфигурацию.

Несмотря на то, что методы на основе сверточных нейронных сетей требуют большого количества данных для обучения и достаточно сложны для реализации, они могут дать хорошие результаты и могут быть эффективными для сглаживания спектральных графиков тремора рук [17], [18], [19].

## 2.3 Методы сравнения спектральных графиков тремора рук

Для сглаженных рядов можно выполнить оценку похожести. При исследовании спектров треморограмм анализируемый временной ряд имеет ряд фиксированную длину. Понятие похожести определяем следующим образом: спектр *X* = (*x*1, *x*2, *x*3, ..., *xn*) является похожим на шаблон *S* = (*s*1, *s*2, *s*3, ..., *sn*), если существует такое преобразование *T*, что *T*(*X*)≈*S*.

Для анализа спектральных графиков тремора рук используются различные алгоритмы сравнения спектральных графиков.

Как и любые другие методы сравнения, методы сравнения спектральных графиков тремора рук могут быть качественными и количественными.

Качественные методы сравнения спектральных графиков тремора рук включают в себя визуальное сравнение графиков. Этот метод основан на опыте и экспертизе врача, который может определить, насколько похожи два графика. Врач может оценить, насколько одинаковы частоты и амплитуды тремора, а также наличие каких-либо особенностей в графиках, таких как наличие пиков или изменение формы графика.

Количественные методы сравнения спектральных графиков тремора рук включают в себя использование математических алгоритмов для анализа графиков.

Один из наиболее распространенных численных методов сравнения спектральных графиков тремора рук — это динамическое программирование с использованием алгоритма динамической трансформации времени (DTW).

DTW алгоритм позволяет сравнивать два временных ряда, которые могут быть разной длины и иметь различные скорости изменения. Он работает путем нахождения оптимального соответствия между двумя временными рядами, минимизируя суммарное расстояние между соответствующими точками рядов.

Для применения DTW алгоритма к спектральным графикам тремора рук, спектральные графики должны быть представлены в виде временных рядов, где каждая точка представляет собой значение амплитуды в определенный момент времени. Затем DTW алгоритм может быть применен для сравнения двух спектральных графиков, чтобы определить степень их сходства.

Применение DTW для сравнения спектральных графиков тремора рук включает следующие шаги:

1. Нормализовать каждый график, чтобы убедиться, что частотные пики будут иметь одинаковую высоту.

2. Рассчитать спектральные коэффициенты с использованием временного окна. Для каждого графика этот шаг производится независимо.

3. Рассчитать расстояния между коэффициентами графиков (например, евклидово расстояние).

4. Использовать DTW для выравнивания двух графиков и минимизации расстояния между ними.

Результатом DTW будет определенное расстояние между двумя графиками, показывающее, насколько сильно они отличаются друг от друга по форме. Этот метод может быть полезен для оценки сходства спектральных графиков тремора рук, что может быть полезно для диагностики или мониторинга эффективности лечения этого заболевания.

Другим методом сравнения спектральных графиков является использование коэффициента корреляции Пирсона. Этот метод также позволяет определить степень сходства между двумя спектральными графиками, основываясь на корреляции между их амплитудами на разных частотах.

Критерий корреляции Пирсона – это метод параметрической статистики, позволяющий определить наличие или отсутствие линейной связи между двумя количественными показателями, а также оценить ее тесноту и статистическую значимость [20].

Для вычисления корреляции Пирсона необходимо выполнить следующие шаги:

1. Вычислить среднее значение и стандартное отклонение для каждого набора данных (графика).

2. Вычислить ковариацию между двумя наборами данных.

3. Вычислить коэффициент корреляции Пирсона.

Коэффициент корреляции Пирсона измеряет линейную связь между переменными. Его значение можно интерпретировать так:

1. +1 - Полная положительная корреляция
2. +0,8 - Сильная положительная корреляция
3. +0.6 - Умеренная положительная корреляция
4. 0 - никакой корреляции
5. -0.6 - Умеренная отрицательная корреляция
6. -0,8 - Сильная отрицательная корреляция
7. -1 - Полная отрицательная корреляция [21].

Таким образом, корреляция Пирсона может быть использована для сравнения спектральных графиков тремора рук и определения степени их сходства. Если коэффициент корреляции близок к 1, то можно сделать вывод, что два графика имеют схожую форму и распределение амплитуды тремора по частотам. Если коэффициент корреляции близок к 0, то можно сделать вывод, что два графика не имеют линейной связи между собой и не схожи.

Однако, DTW алгоритм является более гибким и точным методом, который может учитывать различные скорости изменения в спектральных графиках и обеспечивает более точное сравнение.

Также может использоваться машинное обучение. Для сравнения спектральных графиков тремора рук с помощью методов машинного обучения, сначала необходимо создать обучающую выборку данных, состоящую из спектральных графиков тремора рук, которые были размечены по типу тремора.

Затем выделяют признаки, которые характеризуют спектры на основе их формы и частотных характеристик, например, основную частоту, амплитуду колебаний и т.д. Эти признаки могут быть вычислены с помощью алгоритмов обработки сигналов или методов анализа спектральных графиков.

Далее, используя алгоритмы машинного обучения, такие как метод опорных векторов или нейронные сети, можно построить модель классификации для определения типа тремора на основе выделенных признаков. В фазе обучения, модели передают обучающую выборку, а она обучается классифицировать спектральные графики с различных типов тремора.

После завершения обучения модели ее можно использовать для классификации новых спектральных графиков тремора рук, которые еще не были ранее размечены. Можно оценить точность модели, используя метрики, такие как точность и полнота [ССЫЛКА].

Применение методов машинного обучения для сравнения спектральных графиков тремора рук позволяет автоматизировать и ускорить процесс анализа данных, а также улучшить точность и надежность классификации по сравнению со сравнением спектральных графиков вручную. Это может быть особенно полезно в диагностике нарушений движения и мониторинге эффективности лечения.

Для проведения анализа спектральных графиков тремора рук будут выбраны следующие методы:

1. В качестве методов сглаживания – полиномиальная аппроксимация методом МНК и скользящее среднее.
2. В качестве методов сравнения - DTW метод и коэффициент корреляции Пирсона

В целом, методы анализа спектральных графиков тремора рук могут быть полезными для оценки эффективности лечения тремора и для мониторинга прогресса заболевания. Однако, как и любые другие методы, они должны использоваться в сочетании с другими методами диагностики и оценки.

​

# 3 Разработка программы для сравнения спектральных графиков тремора рук

* 1. Архитектура программы

Архитектура программы — это общая структура и организация программного кода, которая определяет, как компоненты программы взаимодействуют друг с другом и как они решают поставленные задачи. Хорошо спроектированная архитектура программы обеспечивает ее эффективность, надежность, масштабируемость и удобство сопровождения.

В данной работе будет использована функциональная архитектура.

Функциональная архитектура программы — это подход к организации программного кода, при котором он разбивается на отдельные функциональные блоки, каждый из которых выполняет определенную задачу.

Функциональная архитектура программы состоит из трех основных функций:

1. Функция для чтения и обработки данных - данный компонент отвечает за чтение данных из файлов, их обработку и подготовку к анализу.

2. Функция для анализа данных - данный компонент отвечает за анализ спектральных графиков тремора рук.

3. Функция для визуализации результатов -данный компонент отвечает за визуализацию результатов анализа в виде графиков и диаграмм.

Данная архитектура позволяет создавать более гибкие и масштабируемые программы, так как каждый блок может быть изменен или заменен без влияния на остальную часть программы. Кроме того, такой подход упрощает тестирование и отладку программы, так как каждый блок может быть протестирован отдельно.

* 1. Используемые библиотеки и инструменты

Для разработки программы по автоматизации процесса анализа спектральных графиков тремора рук были использованы следующие библиотеки и инструменты.

* + - 1. Язык программирования

Для реализации процесса сравнения спектральных графиков тремора рук был выбран языка программирования Python. Этот язык является:

а) объектно-ориентированным, то есть в нем существуют классы и объекты;

б) интерпретируемым, то есть код запустится на любой платформе, где установлен интерпретатор, так как код не переводится в машинный код, а выполняется программой-интерпретатором;

в) динамическим, то есть типы переменных определяются после запуска программы, а не при компиляции, а сочетать в выражениях разные типы нельзя.

Положительными сторонами при использовании данного языка можно считать то, что у него минималистичный синтаксис, где легко писать и читать код. Язык обладает большим количеством стандартных и дополнительных библиотек [22].

* + - 1. Среда разработки

Для реализации был выбран Visual Studio Code — бесплатный редактор кода от Microsoft для Windows, Linux и MacOS. К его возможностям, а также плюсам можно отнести отладку, подсветку синтаксиса, интеллектуальное завершение кода, предопределённые фрагменты кода, рефакторинг и интеграция с Git. Редактор очень прост в использовании и не требует каких-либо навыков. Для начала работы понадобятся дополнительные пакеты, но установить их довольно просто [23].

* + - 1. Библиотеки языка

Python имеет огромное количество библиотек и инструментов, которые могут быть использованы для различных задач.

а) Библиотека NumPy была использована для работы с массивами данных и выполнения математических операций.

б) Библиотека Matplotlib была использована для визуализации результатов анализа в виде графиков и диаграмм.

в) Библиотека Pandas была использована для предоставления удобных структур данных для эффективной работы с табличными данными, такими как CSV, Excel, SQL-таблицы и другие форматы.

г) Библиотека SciPy была использована для выполнения научных вычислений, включая обработку сигналов.

## 3.3 Разработка модуля анализа спектральных графиков

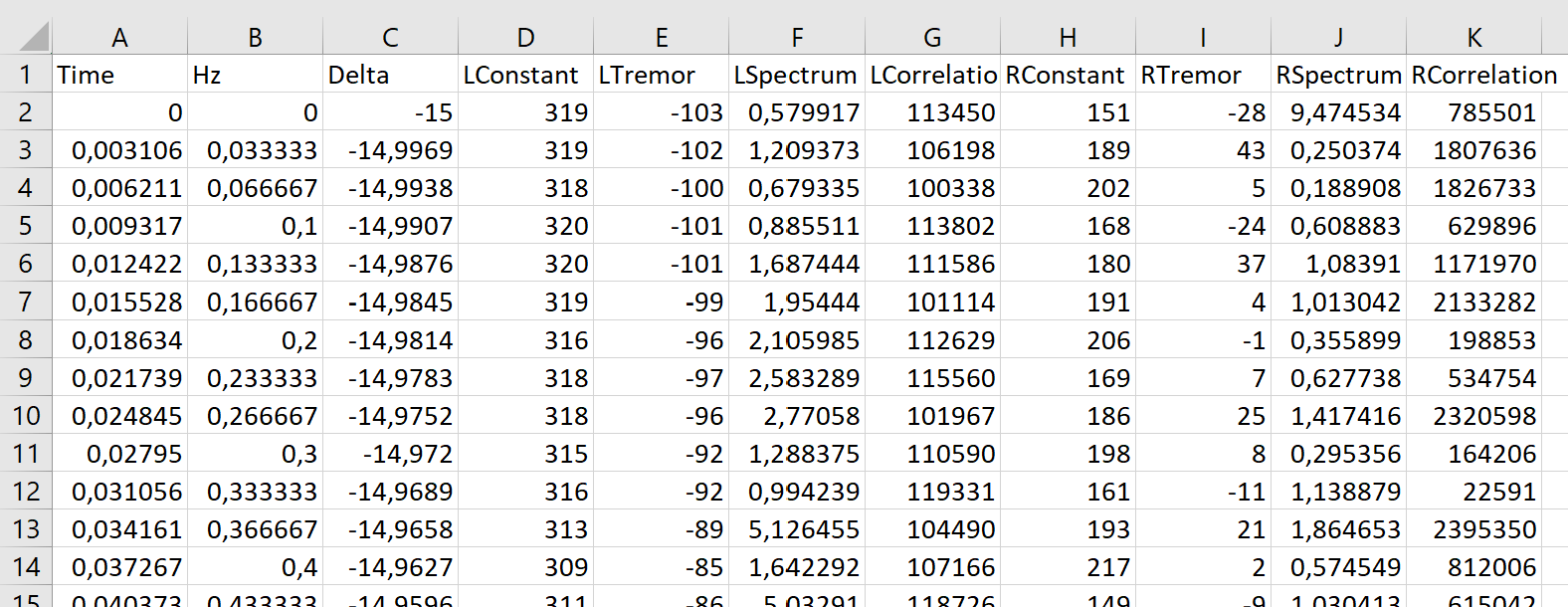
### 3.3.1 Функция чтения и обработки данных

Результаты измерений после процедуры измерения параметров тремора представлены в виде треморограмм – временных рядов, состоящих из оцифрованных значений амплитуд тремора, возникающего при воздействии рук на чувствительные элементы прибора.

Для исследования основных структурных компонент нестационарных временных рядов, полученных при измерении биологических сигналов, разработаны различные методы, основанные на преобразовании Фурье.

Данные, полученные с треморографа, уже были первично обработаны и хранятся в excel-файле, в котором содержатся столбцы с различными характеристиками тремора. Вид таблицы представлен на рисунке 3.1.

Рисунок 3.1 – Данные в excel-файле



Для дальнейшего анализа и сравнения графиков необходимы данные из столбцов, которые содержат частоты спектров тремора правой и левой рук, а также столбец, содержащий время получения частоты.

В разработанном модуле чтение данных из файла формата Excel происходит через функцию read\_excel() из библиотеки pandas. Она позволяет загружать данные из листов Excel-файлов в объекты библиотеки Pandas. С помощью атрибута table.values[] происходит возвращением данных таблицы в виде массива.

3.3.2 Функция анализа данных

Анализ данных начинается со сглаживания исходных данных с помощью различных математических методов.

3.3.2.1 Методы сглаживания

Сглаживание исходных данных таблицы осуществляется следующим образом.

Полиномиальная аппроксимация МНК

Метод полиномиальной аппроксимации МНК является одним из методов численного анализа, который используется для приближения функции полиномом с минимальной ошибкой.

Для того чтобы произвести сглаживание, сначала необходимо выбрать степень полинома, которая является наиболее подходящей для данной функции. Затем, используя метод наименьших квадратов, мы находим коэффициенты полинома, которые минимизируют сумму квадратов ошибок между полиномом и исходной функцией.

Код данного метода выглядит следующим образом:

def polynomial\_regression(x, y, degree):

n = len(x)

X = np.zeros((n, degree + 1))

for i in range(n):

for j in range(degree + 1):

X[i][j] = x[i]\*\*j

Y = y.reshape(n, 1)

Xt = np.transpose(X)

XtX = np.dot(Xt, X)

XtY = np.dot(Xt, Y)

inv\_XtX = inv(XtX)

coef = np.dot(inv\_XtX, XtY)

return coef.flatten()

def smooth\_data(x, y, degree):

coef = polynomial\_regression(x, y, degree)

smooth\_y = np.zeros(len(x))

for i in range(len(x)):

for j in range(degree + 1):

smooth\_y[i] += coef[j] \* x[i]\*\*j

return smooth\_y

Этот код реализует функцию smooth\_data, которая принимает на вход два массива x и y, содержащие координаты точек исходной функции, а также параметр degree, который определяет степень полинома. Функция использует метод polynomial\_regression, который находит коэффициенты полинома методом наименьших квадратов.

Затем функция smooth\_data использует найденные коэффициенты для вычисления значений сглаженной функции в каждой точке x. Результатом работы функции smooth\_data является массив smooth\_y, содержащий значения сглаженной функции в соответствующих точках x.

Простое скользящее среднее

Метод простого скользящего среднего (SMA) — это метод сглаживания временных рядов, который используется для уменьшения шума и выявления трендов.

Он работает путем вычисления среднего значения в заданном окне размера n, которое перемещается по временному ряду. Таким образом, для каждого момента времени вычисляется среднее значение из предшествующих n точек.

Код данного метода выглядит следующим образом:

def sma (data, window):

sma = np.convolve(data, np.ones(window)/window, mode='valid')

return sma

Функция sma принимает на вход два аргумента: массив data - исходные данные, и window - размер окна скользящего среднего. Функция использует функцию np.convolve для вычисления среднего значения в заданном окне размера n, которое перемещается по временному ряду. Аргумент mode='valid' указывает на то, что результатом является только те значения, для которых окно полностью помещается внутри временного ряда.

Затем функция возвращает сглаженные данные в массиве sma. Эти данные могут быть использованы для анализа трендов и прогнозирования будущих значений во временном ряду.

Экспоненциальное скользящее среднее

Метод экспоненциального скользящего среднего (EMA) — это метод сглаживания временных рядов, который используется для выявления трендов и уменьшения шума.

Он работает путем присвоения весов каждому значению во временном ряду в соответствии с его возрастом. Более новые значения получают больший вес, а более старые значения получают меньший вес. Это достигается путем применения экспоненциальной функции сглаживания к каждому значению в ряду.

Код данного метода выглядит следующим образом:

def ema (data, window):

weights = np.exp(np.linspace(-1., 0., window))

weights /= weights.sum()

ema = np.convolve (data, weights, mode='full')[:len(data)]

return ema

Функция ema принимает на вход два аргумента: массив data - исходные данные, и window - размер окна скользящего среднего. Функция сначала создает веса, которые будут применены к каждому значению в исходном ряду данных. Эти веса вычисляются с помощью экспоненциальной функции, используя np.exp и np.linspace.

Затем функция применяет скользящее среднее к данным, используя np.convolve, где mode='full' означает, что функция будет применена ко всему ряду данных, включая начальные и конечные точки, которые не попадают в окно скользящего среднего.

Наконец, функция возвращает сглаженные данные в массиве ema. Эти данные могут быть использованы для анализа трендов и прогнозирования будущих значений во временном ряду.

3.3.2 Методы сравнений спектральных графиков

Сравнение спектральных графиков тремора рук было проведено двумя способами.

* + - 1. Качественное сравнение

Качественное сравнение графиков тремора рук осуществляется по амплитуде спектра на разных диапазонах частоты. В раздела 1 были описаны

* + - 1. Количественное сравнение

Количественное сравнение спектральных графиков тремора рук можно производить с помощью различных методов анализа спектров.

В разделе 1 было описано поведение амплитуды спектральных составляющих здорового человека, поэтому для дальнейшего сравнения необходимо было поделить весь диапазон частоты на шесть диапазонов: от 0 до 2 Гц, от 2 до 3 Гц, от 4 до 6 Гц, от 7 до 10 Гц, от 12 до 14 Гц и от 16 Гц и далее. После этого в 1, 3 и 5 диапазонах были определены средние значения спектральных характеристик для того, чтобы определить поведение амплитуды. Далее по описанию поведения амплитуды было разработано сравнение с каждым диапазоном, чтобы определить схожесть исходных данных с шаблоном здорового человека или человека, который имеет некоторые отклонения.

2.1 Коэффициент корреляции

Коэффициент корреляции может быть использован для сравнения двух спектральных графиков тремора рук. Чем ближе коэффициент корреляции к 1, тем больше сходство между спектральными графиками.

Код данного метода выглядит следующим образом:

corr = np.corrcoef(x, y)

r = corr[0, 1]

Здесь использована функция numpy.corrcoef() для вычисления матрицы корреляции между массивами x и y. Затем получен коэффициент корреляции между первым и вторым графиками, обращаясь к элементу corr[0, 1] (индексация начинается с нуля).

Этот коэффициент корреляции Пирсона может быть использован для сравнения двух спектральных графиков тремора рук. Если значение коэффициента близко к единице, то графики сильно коррелируют между собой, что указывает на сходство их формы и расположения пиков. Если значение коэффициента близко к нулю, то графики не коррелируют между собой, что указывает на различия в форме и расположении пиков.

2.2 Метод динамической трансформации

Метод динамической трансформации временных рядов — это алгоритм выравнивания временных рядов, который может использоваться для сравнения графиков.

Код данного метода выглядит следующим образом:

def dtw(spectrum1, spectrum2, distance\_func):

n, m = len(spectrum1), len(spectrum2)

dtw\_matrix = np.zeros((n + 1, m + 1))

dtw\_matrix[1:, 0] = np.inf

dtw\_matrix[0, 1:] = np.inf

for i in range(1, n + 1):

for j in range(1, m + 1):

cost = distance\_func(spectrum1[i - 1], spectrum2[j - 1])

dtw\_matrix[i, j] = cost + min(dtw\_matrix[i - 1, j], dtw\_matrix[i, j - 1], dtw\_matrix[i - 1, j - 1])

path = []

i, j = n, m

while i > 0 and j > 0:

path.append((i - 1, j - 1))

if dtw\_matrix[i - 1, j] < dtw\_matrix[i, j - 1]:

i -= 1

else:

j -= 1

return dtw\_matrix[n, m], path[::-1]

def euclidean\_distance(x, y):

return np.sqrt(np.sum((x - y) \*\* 2))

Здесь spectrum1 и spectrum2 — это спектральные графики, которые мы хотим сравнить.

distance\_func — это функция расстояния, которая используется для сравнения двух точек в спектрах (в данном случае используется евклидово расстояние).

Возвращаемое значение dtw — это минимальное расстояние между двумя спектральными графиками и оптимальный путь наименьшей стоимости через матрицу расстояний.

3.3.4 Функция для визуализации результатов

Для представления данных была разработана функция по отрисовке спектральных графиков тремора рук исходных данных и данных после сглаживания методами полиномиальной аппроксимации МНК, простого и экспоненциального среднего.

Для того чтобы в окне графики отображались в отдельных полях, но в одном окне, необходимо использовать функцию supplot() для задания их мест размещения.

За отрисовку графика отвечает функция plot(), в которой указываются аргументы для графика, а также цвет и тип линии.

Для задания заголовка графика используется функция title(), а для задания подписи оси x используется функция xlabel(), оси y – ylabel().

Также на график можно добавить сетку. Часто это необходимо, чтобы лучше понимать положение каждой точки на графике. Достаточно воспользоваться функцией grid(), передав в качестве аргумента True.

Функция, которая отвечает показа график, show() [24].

В результате разработки была создана программа для автоматизации анализа спектральных графиков тремора рук на языке Python. Программа включает в себя загрузку и чтение данных из файла, анализ спектральных графиков тремора рук и результаты анализа в виде графиков и выводов.

# 4 Экспериментальное исследование

## 4.1 Здоровый пациент

На рисунках 4.1 и 4.2 представлены исходные данные и данные после сглаживания полиномиальной аппроксимацией МНК и методами простого и экспоненциального сглаживания.

|  |  |
| --- | --- |
| Левая рука | Правая рука |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

Рисунок 4.1 – Спектры левой и правой рук до и после сглаживания полиномиальная аппроксимация МНК

|  |  |
| --- | --- |
| Левая рука | Правая рука |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

Рисунок 4.2 – Спектры левой и правой рук до и после сглаживания методами простого и экспоненциального скользящего среднего

На рисунках 4.3 - 4.5 представлены результаты сравнения спектральных графиков тремора рук с шаблоном.

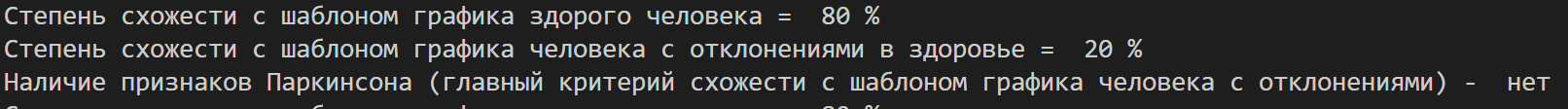


Рисунок 4.3 – Результат сравнения спектральных графиков с помощью качественного сравнения

Рисунок 4.4 – Результат сравнения спектральных графиков методом DTW

Рисунок 4.5 – Результат сравнения спектральных графиков с помощью коэффициента корреляции Пирсона

## 4.2 Пациент с отклонениями

На рисунке 4.6 и 4.7 представлены исходные данные и данные после сглаживания полиномиальной аппроксимацией МНК и методами простого и экспоненциального сглаживания.

|  |  |
| --- | --- |
| Левая рука | Правая рука |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

Рисунок 4.6 – Спектры левой и правой рук до и после сглаживания полиномиальная аппроксимация МНК

|  |  |
| --- | --- |
| Левая рука | Правая рука |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

Рисунок 4.7 – Спектры левой и правой рук до и после сглаживания методами простого и экспоненциального скользящего среднего

На рисунках 4.8 - 4.10 представлены результаты сравнения спектральных графиков тремора рук с шаблоном.

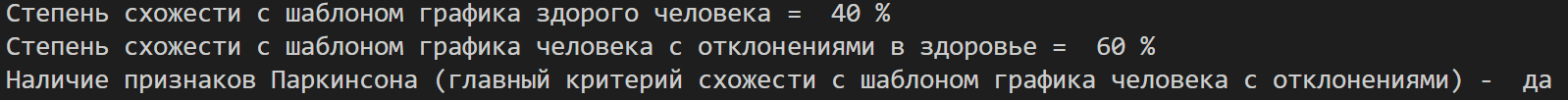


Рисунок 4.8 – Результат сравнения спектральных графиков с помощью качественного сравнения



Рисунок 4.9 – Результат сравнения спектральных графиков методом DTW

Рисунок 4.10 – Результат сравнения спектральных графиков с помощью коэффициента корреляции Пирсона

Программа была протестирована на реальных данных и показала высокую точность и скорость анализа спектральных графиков тремора рук.

# 5 Составление бизнес-плана по коммерциализации результатов исследования

Дипломная работа посвящена программной реализации автоматизации процесса анализа спектральных графиков рук у пациентов.

## 5.1 Резюме проекта

Программа по автоматизации процесса анализа спектральных графиков тремора рук позволяет проводить анализ и обработку спектральных графиков для диагностики тремора рук. Программа осуществляет автоматическое извлечение физиологических параметров и характеристик из графиков, что значительно упрощает процесс диагностики и облегчает работу медицинского персонала.

Программа позволяет значительно сократить время, затрачиваемое на анализ спектральных графиков тремора рук, а также уменьшить вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором. Также она повышает точность диагностики и обеспечивает более эффективное и точное лечение.

Сегменты рынка: медицина.

Стоимость проекта – 10 591 440,4 рублей.

Срок реализации – 1 год.

Срок окупаемости – 1 год.

Показатель рентабельности инвестиций (ROI) – 17,4%.

Чистая приведенная стоимость (NPV) – 6 125 364,9 рублей.

## 5.2 Описание продукции

Автоматизация процесса анализа графиков тремора рук предназначена для изучения характеристик тремора рук.

Программная реализация разрабатывается в исследовательских целях, однако может быть использована в области медицины для того, чтобы:

1. избавить врачей от рутинной работы;
2. позволить обнаруживать особенности в движении рук, незаметные для глаз человека;
3. повысить точность диагноза;
4. уменьшить число медицинских ошибок.

Актуальность разработки автоматизации данного процесса определяет трудный процесс определения тремора рук из-за однотипного его проявления, особенно в случаях, когда колебания незаметны для глаз человека. Поэтому остро стоит вопрос анализа спектральных графиков тремора рук, чтобы изучить характеристики тремора рук.

## 5.3 Анализ рынка сбыта продукции

Определение целевой аудитории для программы автоматизированного анализа спектральных графиков тремора рук осуществляется с целью определения групп пользователей, наиболее заинтересованных в покупке и использовании данного продукта.

Медицинские учреждения, занимающиеся исследованием тремора рук, могут быть наиболее привлекательными клиентами для данной программы, так как они имеют возможности проводить более широкий анализ и рекомендовать данную программу своим пациентам для повышения точности диагноза.

Университеты и научные организации также могут быть привлекательными группами пользователей для данной программы, особенно те, которые занимаются исследованиями в области неврологии и нейроразработки.

Пациенты, страдающие от тремора рук, это потенциальные клиенты, которые могут использовать данную программу для улучшения точности диагностики и мониторинга своего заболевания в домашних условиях.

Понимание целевой аудитории важно, чтобы определить, как создать ее потребности и как предлагать решения для этих групп, а также как эффективно продвигать продукт и добиваться успеха на рынке.

Спрос на программу может оцениваться как высокий, особенно в медицинской отрасли. Размер и потенциал рынка можно оценить, проведя анализ крупных здравоохранительных учреждений и университетов, а также опрос врачей и пациентов. Цены на рынке могут существенно различаться в зависимости от функциональности и качества программы. Компания, разрабатывающая программный продукт, может стремиться занять долю рынка путем предоставления уникальных возможностей и инновационных решений, а также сосредоточившись на потребностях и предпочтениях ключевых целевых сегментов.

## 5.4 Анализ конкурентов

Программы для анализа спектральных графиков тремора рук являются важным инструментом для диагностики и оценки тяжести тремора у пациентов. Рынок, на котором представлены такие программы, сегодня достаточно разнообразен и высоко развит.

Существует множество компаний, которые предлагают программные решения для анализа спектральных графиков тремора рук. Некоторые из них специализируются на медицинских приложениях, в то время как другие предлагают универсальные инструменты для анализа временных рядов и спектральных данных.

Среди ключевых игроков на этом рынке можно выделить программные продукты:

1. TremorQuant – это программное обеспечение, разработанное группой нейрофизиологов и нейрологов из университета Флориды. В отличие от нашей программы, TremorQuant использует алгоритмы классификации, основанные на машинном обучении, для анализа тремора рук. Однако, TremorQuant не позволяет сравнивать спектральные графики нескольких измерений.

2. TremorScope – это еще одно программное обеспечение, которое используется для анализа тремора рук. С помощью TremorScope можно получить графики и анализировать данные, но у этой программы не так много опций, как у нашей. TremorScope также не имеет функции сравнения и сопоставления данных.

3. Kinesia – является мобильным устройством, нацеленным на анализ движений. Как и TremorQuant, Kinesia использует машинное обучение для анализа данных и представляет данные в виде графиков, но, в отличие от нашей программы, Kinesia не предоставляет возможности сравнивать данные.

Изучение конкурентов на рынке программного обеспечения для анализа спектральных графиков тремора рук, а также анализ сильных и слабых сторон конкурентов позволяет использовать преимущества конкурентов и создать новые, улучшенные функции в приложении. В результате можно создать уникальный и привлекательный продукт, который будет лучше соответствовать потребностям клиентов.

## 5.5 План маркетинга

План маркетинга включает в себя план продаж, товарную политику, ценовую политику и сбытовую политику и рекламные мероприятия.

### 5.5.1 План продаж

Прогнозный план продаж (ежеквартальный) формируется в натуральном выражении, а также включает в себя прогноз выручки в стоимостном выражении.

Стоимость разрабатываемого программного продукта складывается из реализации себестоимости реализации, включая все затраты на реализацию) проекта.

Система налогообложения – упрощенная, что подразумевает особый порядок уплаты налогов и ориентирован на представителей малого и среднего бизнеса. Для упрощённой системы налогообложения налоговая ставка будет составлять 6%.

В качестве финансирования будет использован кредит на 6 000 000 рублей сроком на 1 год со ставкой 12,5 % годовых и ежемесячным платежом в 623 580 рублей [25].

Ожидаемый объем продаж составит 30 единиц в первый квартал с дальнейшим увеличением на 30 единиц в каждый последующий квартал. Цена одной единицы товара составить 100 000 рублей в течение первых двух кварталов, далее цена составит 200 000 рублей.

План представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – План продаж

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | Квартал | | | |
| I | II | III | IV |
| Ожидаемый объем продаж, ед. | 30 | 60 | 90 | 120 |
| Цена без НДС за 1 единицу, руб | 100 000,00 | 100 000,00 | 200 000,00 | 200 000,00 |
| Выручка, руб | 3 000 000,00 | 6 000 000,00 | 18 000 000,00 | 24 000 000,00 |

### 5.5.2 Стратегия маркетинга

Стратегия маркетинга программы по автоматизации процесса анализа спектральных графиков тремора рук должна быть направлена на привлечение клиентов из медицинской отрасли, которые используют эту программу для диагностики тремора рук.

Рекламная кампания программы включает в себя:

1. Компания должна продвигать продукт через онлайн-рекламу на сайтах медицинских изданий.

Реклама на сайте обойдется компании в 40 000 рублей в месяц.

2. Компания должна заключать партнерские соглашения с медицинскими центрами, чтобы расширить свою клиентскую базу.

Партнерские соглашения будут разработаны на взаимовыгодных условиях, поэтому будут бесплатными.

3. Компания может создать лид-магниты, такие как бесплатные демонстрационные версии программы по диагностике тремора рук, которые будут доступны для скачивания с сайта компании.

Демонстрационные версии будут выложены на сайте компании в бесплатном доступе сроком на 30 дней.

4. Email-маркетинг: Компания может использовать email-маркетинг для привлечения клиентов, отправляя им информацию о продукте, новостях из мира медицины и т.д.

Рассылка будет осуществляться раз в месяц, стоимость которой 15 00 рублей.

5. Компания может использовать социальные сети для привлечения клиентов и продвижения продукта, создавая контент на тему диагностики тремора рук, обсуждая последние новости и технологические достижения в медицине.

Ведение социальной сети будет осуществлять в рамках договора с компанией, которая занимается социальными сетями. Стоимость услуги 30 000 рублей в месяц.

6. Компания может использовать отзывы клиентов о продукте для привлечения новых клиентов. Положительные отзывы помогут убедить потенциальных клиентов в эффективности программы и повысят ее доверие в глазах потенциальных клиентов.

Публикация отзывов в социальной сети входит в пакет услуг по ведению социальных сетей, поэтому стоимость уже включена.

Стоимость рекламной кампании представлена в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Рекламная кампания

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | Квартал, руб/квартал | | | | |
| I | II | III | IV | |
| Размещение баннера на медицинском сайте | 160000 | 160000 | 160000 | 160000 | |
| Ведение социальной сети Вконтакте | 120000 | 120000 | 120 000 | 120000 | |
| Партнерские соглашения с медицинскими центрами | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Участие в медицинских конференциях | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Демонстрационные версии программы | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| E-mail рассылка | 60000 | 60000 | 60000 | 60000 | |
| Публикация отзывов клиентов | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Итого, руб/квартал | 340000 | 340000 | 340000 | 340000 | |
| Итого, руб/год | | | | | 1 360 000 |

Общая сумма рекламной кампании составит 1 360 000 рублей в год.

## 5.6 План производства

Целью данного раздела является выявление стратегии плана разработки, который позволит проанализировать необходимые ресурсы.

### 5.6.1 Инвестиционные затраты

Инвестиционные затраты определяются на момент планирования проекта и требуют особой тщательности, поскольку велика вероятность ошибки. Если часть затрат на реализацию проекта будет не учтена либо окажутся излишними, то в процессе реализации плана может не хватить ресурсов. Отсюда возникает необходимость учета инвестиционных затрат.

Инвестиционные затраты включают в себя расходы на основные средства (оборудование, здания, транспорт), товарные запасы, сырье, а также издержки на логистику, строительно-монтажные работы и другое.

Перечень основных средств и их количество со стоимостью одной единицы товара представлен в таблице 5.3. Инвестиционные затраты представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.3 – Перечень основных средств

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование | Количество | Стоимость, руб |
| Аренда помещения | 32м2 | 39 0000 |
| Ноутбук | 5 | 70 000 |
| Стол | 5 | 4 000 |
| Стул | 5 | 5 000 |
| Шкаф | 1 | 30 000 |
| МФУ | 1 | 20 000 |
| Телефон | 1 | 1500 |

Таблица 5.4 – Инвестиционные затраты

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Квартал, руб/квартал | | | |
| I | II | III | IV |
| Административные затраты | 156 000 | 156 000 | 156 000 | 156 000 |
| Ноутбук | 350 000 | 0 | 0 | 0 |
| Стол | 20 000 | 0 | 0 | 0 |
| Стул | 25 000 | 0 | 0 | 0 |
| Шкаф | 30 000 | 0 | 0 | 0 |
| МФУ | 20 000 | 0 | 0 | 0 |
| Телефон | 1500 | 0 | 0 | 0 |
| Итого, руб/квартал | 602 500 | 156 000 | 156 000 | 156 000 |
| Итого, руб/год | | | | 1 070 500 |

Общая сумма инвестиционных затрат составила 1 070 500 рублей.

### 5.6.2 Затраты по статье «материалы»

Расчет количества и стоимости материалов с учетом транспортно- заготовительных расходов: на статью «Материалы» относятся расходы на основные и вспомогательные материалы и комплектующие изделия, которые могут понадобиться при выполнении разработки.

Перечень материалов представлен в таблице 5.5. Затраты представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.5 – Перечень материалов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование | Количество | Стоимость, руб |
| Бумага А4 | 6 | 350 |
| Картридж | 2 | 1 000 |
| Ручка | 20 | 50 |
| USB Flash drive | 2 | 200 |

Таблица 5.6 – Затраты на материалы

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Квартал, руб/квартал | | | |
| I | II | III | IV |
| Бумага А4 | 1 050 | 0 | 1 050 | 0 |
| Картридж | 1 000 | 0 | 1 000 | 0 |
| Ручка | 500 | 0 | 500 | 0 |
| USB Flash drive | 400 | 0 | 0 | 0 |
| Итого, руб/квартал | 2 950 | 0 | 2 550 | 0 |
| Итого, руб/год | | | | 5 500 |

Таким образом, затраты на материалы составляют 5 500 рублей в год.

### 5.6.3 Затраты на оплату труда

Затраты на оплату труда представляют собой суммарные расходы, связанные с выплатой заработной платы работникам организации за определенный период времени. Эти расходы могут включать не только базовую заработную плату, но и дополнительные выплаты, такие как премии, бонусы, компенсации и пособия.

Перечень сотрудников, основные зарплаты, премии и страховые взносы представлены в таблице 5.7. Сведения о затратах на оплату труда представлены в таблице 5.8.

Таблица 5.7 – Перечень сотрудников

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Основная зарплата, руб/мес | Премия, руб (14%), руб/мес | Страховые взносы, руб (30%), руб/мес |
| Руководитель | 100 000 | 114 000 | 148 200 |
| Разработчик | 90 000 | 102 600 | 133 380 |
| Тестировщик | 80 000 | 91 200 | 118 560 |
| Маркетолог | 60 000 | 68 400 | 88 920 |

Таблица 5.8 – Затраты на материалы

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Квартал, руб/квартал | | | |
| I | II | III | IV |
| Руководитель | 592 800 | 592 800 | 592 800 | 592 800 |
| Разработчик | 533 520 | 533 520 | 533 520 | 533 520 |
| Тестировщик | 474 240 | 474 240 | 474 240 | 474 240 |
| Маркетолог | 355 680 | 355 680 | 355 680 | 355 680 |
| Итого, руб/квартал | 1 956 240 | 1 956 240 | 1 956 240 | 1 956 240 |
| Итого, руб/год | | | | 7 824 960 |

Таким образом, затраты на оплату труда составляют 7 824 960 рублей.

### 5.6.4 Общепроизводственные затраты

Общепроизводственные расходы могут быть как постоянными (фиксированными), так и переменными, в зависимости от их характеристик и способа распределения.

Постоянные общепроизводственные расходы — это расходы, которые остаются неизменными, независимо от объема производства. Примерами могут служить арендные платежи за помещения, зарплатный фонд административного персонала, страховые взносы и коммунальные платежи. Постоянные расходы являются фиксированными и не зависят от объема производства или действий предприятия.

Переменные общепроизводственные расходы — это расходы, которые изменяются пропорционально объему производства. Примерами могут служить расходы на материалы, топливо для транспортировки, комиссионные и услуги производственных работников.

Некоторые расходы могут иметь и постоянную, и переменную составляющую. Например, расходы на обслуживание оборудования включают фиксированные расходы на аренду, амортизацию и зарплату специалистов, а также переменные расходы на ремонт и замену деталей.

Контроль и оптимизация общепроизводственных расходов является важным элементом финансового менеджмента, поскольку позволяет предприятию повысить эффективность использования ресурсов и достичь более высокой рентабельности.

Расходы на электроэнергию оборудования вычисляется по формуле [26]:

,

Где Pk – потребляемая мощность,

Sk – цена за 1кВт/ч,

T – время использования оборудования.

Цена за электричество в Санкт-Петербурге в апреле 2023 года – 4.98руб/кВтч.

Таким образом, расходы электричество составит рублей в год.

Амортизация оборудования определяется по государственным нормам линейным методом. Отчисления производят равными пропорциональными частями на протяжении всего времени эксплуатации актива.

Срок полезного использования оборудования равен от двух до трех лет включительно. Срок эксплуатации три года. Норма амортизации = 33,3% [27].

Годовая амортизация рассчитывается по формуле:

,

где − стоимость оборудования; − норма амортизации.

Стоимость ноутбука составляет 70 000 рублей, принтера – 20 000 рублей.

Таким образом, годовая амортизация составит:

руб.

Сведения об общепроизводственных затратах представлены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Общепроизводственные затраты

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | Квартал, руб/квартал | | | |
| I | II | III | IV |
| Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования | 1 817,6 | 1 817,6 | 1 817,6 | 1 817,6 |
| Амортизационные отчисления | 30 802,5 | 30 802,5 | 30 802,5 | 30 802,5 |
| Итого, руб/квартал | 32 620,1 | 32 620,1 | 32 620,1 | 32 620,1 |
| Итого, руб/год | | | | 130 480,4 |

Общая сумма общепроизводственных затрат в год составит – 31 937,6 рублей.

5.6.5 Постоянные управленческие и коммерческие затраты

Постоянные управленческие затраты — это расходы, которые связаны с поддержанием общей деятельности компании и не зависят от объема продаж или производства.

Коммерческие затраты — это расходы, связанные с продвижением товаров и услуг на рынке и обеспечением продаж.

Реклама будет осуществлять с помощью предоставления клиентам пробной версии на 30 дней, поэтому затраты на нее не требуются.

Постоянные управленческие и коммерческие затраты представлены в таблице 5.10.

Таблица 5.10 - Постоянные управленческие и коммерческие затраты

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | Квартал, руб/квартал | | | | |
| I | II | III | IV |
| Заработная плата с отчислениями | 1 956 240 | 1 956 240 | 1 956 240 | 1 956 240 |
| Аренда | 156 000 | 156 000 | 156 000 | 156 000 |
| Реклама | 340 000 | 340 000 | 340 000 | 340 000 |
| Материалы | 2 950 | 0 | 2 550 | 0 |
| Итого, руб/квартал | 2 455 190 | 2 452 240 | 2 454 790 | 2 452 240 |
| Итого, руб/год | | | | 9 814 460 |

Общая сумма постоянных управленческих и коммерческих затрат в год составит – 9 814 460 рублей.

### 5.6.6 Себестоимость проекта

Себестоимость проекта — это сумма затрат, необходимых для его реализации.

Чтобы определить себестоимость проекта, необходимо проанализировать все затраты, связанные с реализацией проекта. В этот анализ включаются затраты на:

1. материалы и оборудование;
2. оплату труда работников;
3. аренду помещений и оборудования;
4. расходы на транспортировку и доставку материалов.

Кроме того, необходимо учитывать возможные неожиданные затраты и резервы на случай изменения условий проекта.

После того, как все затраты проанализированы, суммируются их значения для получения общей себестоимости проекта. Эта стоимость может быть использована при определении цены проекта и при принятии решения о его финансировании.

Себестоимость проекта представлена в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Себестоимость проекта

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | Квартал, руб/квартал | | | | |
| I | II | III | IV | |
| Оборудование | 446 500 | 0 | 0 | 0 | |
| Материалы | 2 950 |  | 2 550 | 0 | |
| Аренда | 156 000 | 156 000 | 156 000 | 156 000 | |
| Оплата труда с отчислениями | 1 956 240 | 1 956 240 | 1 956 240 | 1 956 240 | |
| Реклама | 340 | 340 | 340 | 340 | |
| Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования | 1 816,6 | 1 816,6 | 1 816,6 | 1 816,6 | |
| Амортизационные отчисления | 30 802,5 | 30 802,5 | 30 802,5 | 30 802,5 | |
| Прочее | 50 000 | 50 000 | 50 000 | 50 000 | |
|  |  |  |  |  | |
| Итого, руб/квартал | 2 959 674,4 | 2 959 674,4 | 2 959 674,4 | 2 959 674,4 | |
| Итого, руб/год | | | | | 10 591 440,4 | |

Себестоимость проекта составляет 10 492 897,6 рублей.

## 5.7 Финансовый план

Финансовый план — это документ, который описывает финансовые ресурсы и действия, необходимые для достижения конкретных бизнес-целей. Он включает в себя описание доходов, расходов, инвестиций, планируемых проектов и стратегий управления денежными потоками.

Финансовый план является важным инструментом для бизнеса, который позволяет управлять денежными потоками, прогнозировать будущие результаты и принимать стратегические решения на основе финансовых данных.

### 5.7.1 План прибыли и убытков

План прибыли и убытков описывает доходы и расходы за определенный период времени, обычно за год, основные компоненты это

1. Выручка - доходы, полученные от продажи товаров или услуг.
2. Себестоимость продаж - расходы на материалы, труд и прочие затраты, необходимые для производства продуктов или предоставления услуг.
3. Валовая прибыль - разница между выручкой и себестоимостью продаж.
4. Операционные расходы - расходы на аренду, зарплаты, маркетинг, налоги и прочие затраты, связанные с обычной деятельностью бизнеса.
5. Чистая прибыль - разница между выручкой и суммой операционных расходов.
6. Налоги на доход 6%.
7. Чистая прибыль после налогов - чистая прибыль за вычетом налоговых платежей.

План прибыли и убытков дает возможность оценить рентабельность бизнеса и оценить, какие области могут быть улучшены. Он также может использоваться для принятия решений о бюджетировании и финансовом планировании.

План прибыли и убытков представлен в таблице 5.12.

Таблица 5.12 - План прибыли и убытков

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Квартал | | | |
| I | II | III | IV |
| Выручка | 3 000 000,00 | 6 000 000,00 | 18 000 000,00 | 24 000 000,00 |
| Валовая прибыль | 15 689,90 | 3 465 139,90 | 15 462 589,90 | 21 465 139,90 |
| Операционные расходы | 4 784 310,10 | 6 134 860,10 | 13 337 410,10 | 16 934 860,10 |
| Чистая прибыль | -1 784 310,10 | -134 860,10 | 4 662 589,90 | 7 065 139,90 |
| Налог, 6% | 1800000 | 3600000 | 10800000 | 14400000 |
| Чистая прибыль после налога | 15 689,90 | 3 465 139,90 | 15 462 589,90 | 21 465 139,90 |

### 5.7.2 План движения денежных средств

План движения денежных средств показывает, каким образом ожидается, что денежные средства будут поступать и расходоваться в течение определенного периода времени (например, за год). Он позволяет планировать свои финансы и управлять денежными потоками.

План движения денежных средств представлен в таблице 5.13.

Таблица 5.13 - План движения денежных средств

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Квартал | | | |
| I | II | III | IV |
| 1. Остаток денежных средств | 0,00 | 2 773 689,90 | 196 829,80 | 2 417 419,70 |
| 2. Поступления денежных средств от продажи | 10 000 000,00 | 6 000 000,00 | 18 000 000,00 | 24 000 000,00 |
| 3. Отход денежных средств | 7 226 310,10 | 8 576 860,10 | 15 779 410,10 | 19 376 860,10 |
| 3.1 Оплата труда | 1 956 240,00 | 1 956 240,00 | 1 956 240,00 | 1 956 240,00 |
| 3.2 Оплата аренды | 156 000,00 | 156 000,00 | 156 000,00 | 156 000,00 |
| 3.3 Оплата оборудования | 446 500,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3.4 Оплата материалов | 2 950,00 | 0,00 | 2 550,00 | 0,00 |
| 3.5 Оплата рекламы | 340 000,00 | 340 000,00 | 340 000,00 | 340 000,00 |
| 3.6 Общепроизводственные затраты | 32 620,10 | 32 620,10 | 32 620,10 | 32 620,10 |
| 3.7 Оплата налога на доход | 1 800 000,00 | 3 600 000,00 | 10 800 000,00 | 14 400 000,00 |
| 3.8 Оплата кредита | 2 492 000,00 | 2 492 000,00 | 2 492 000,00 | 2 492 000,00 |
| 4. Чистый денежный поток | 2 773 689,90 | 196 829,80 | 2 417 419,70 | 7 040 559,60 |

Чистый денежный поток (NVP) – это разница между всеми приходами (положительный денежный поток) и расходами (отрицательный денежный поток) средств за определенный промежуток времени.

Показатель рентабельности инвестиций (ROI) вычисляется по формуле:

Доходы составляют 7 040 559,6 рублей за год, а размер вложений – 6 000 000 рублей.

Исходя из полученных данных, ROI составит 17,34 %. Для первого года показатель рентабельности достаточно хороший, так как проект окупится уже в первый год.

Чистая приведенная стоимость (NPV) вычисляется по формуле:

где CFn – ожидаемый чистый денежный поток за N квартал,

N – количество кварталов,

r – ставка дисконтирования,

I – сумма инвестирования (кредит).

Ставку дисконтирования можно выбрать экономическим подходом. Например, взять за ставку дисконтирования – безрисковую ставку. Безрисковая ставка – это ставка по надежным и стабильным инструментам. Безрисковую ставку можно определить по доходности государсвтенных долгосрочных облигаций или ОФЗ. Ставка ОФЗ в среднем 7-10% [28].

Для расчета NPV ставка дисконтирования составит 10% годовых, для одного квартала будет – 2,5.

Полученное значение NPV в результате расчета свидетельствует о целесообразности принятия решения для инвесторов о финансировании и реализации проекта.

## 5.8 Вывод

В ходе написания бизнес-плана были изучена и освоена теория, методология и методика бизнес-планирования. Разработан бизнес-план для программы по автоматизации процесса анализа спектральных графиков тремора рук. Было выяснено, что проект является рентабельным и позволяет окупить вкладываемые в него инвестиции.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы была разработана программа, направленная на автоматизацию процесса анализа спектральных графиков тремора рук. Данная программа позволяет быстро и с высокой точность проанализировать характеристики тремора и определить степени схожести с шаблонными графиками.

Анализ существующих решений выявил отсутствие прямых аналогов, что стало причиной необходимости разработки данной программы.

В рамках данной работы был проведен сравнительный анализ существующих методов исследования тремора рук, с целью выбора метода, наиболее подходящего для проведения процедуры измерения параметров тремора рук. Для этого были рассмотрены различные методы, включая методы сглаживания временных рядов и методы сравнения, основанные на сравнении с шаблонами здорового человека и человека с диагнозом Паркинсона.

Для дальнейшего анализа были выбраны и разработаны различные методы анализа спектральных характеристик тремора рук. Эти методы позволяют более детально изучить спектральные характеристики тремора рук и выявить возможные отклонения от нормы, что может помочь в диагностике заболеваний и выборе оптимального лечения.

Также было проведено тестирование программ на реальных данных, которое показало высокую точность и эффективность работы программы, а также подтвердило преимущества над конкурентами.

Таким образом, автоматизированная система анализа спектральных графиков тремора рук на языке Python является эффективным инструментом для диагностики и мониторинга тремора у пациентов с различными заболеваниями. Программа позволяет проводить бесконтактный и неинвазивный мониторинг тремора рук, что дает возможность диагностировать заболевание на ранних стадиях и контролировать его динамику на протяжении лечения.

Благодаря своей эффективности и точности данная система может значительно улучшить качество диагностики и лечения пациентов с нарушениями движения. Она также позволит снизить затраты на проведение анализа данных и высвободить время медицинского персонала для более качественного взаимодействия с пациентами.

В дальнейшем данная работа может быть использована в различных медицинский учреждениях не только для определения тремора рук, но и для постановления точного диагноза у пациентов с диагнозом Паркинсона. Это может значительно улучшить качество жизни таких пациентов и помочь им получить эффективное лечение.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тремор: классификация, клиническая характеристика. Т.Г.Говорова, А.А.Таппахов, Т.Е.Попова, У.Д.Антипина [Интернет-ресурс] URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tremor-klassifikatsiya-klinicheskaya-harakteristika/viewer (дата обращения 30.03.2023 г)
2. Треморография в клинической практике. Т.Г.Говорова, Т.Е.Попова, А.А.Таппахов [Интернет-ресурс] URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tremorografiya-v-klinicheskoy-praktike/viewer (дата обращения 30.03.2023г)
3. Тензометрическая треморография в прецизионных системах медицинской диагностики, Zoya Aleksanyan (Institute of the Human Brain, Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russiа), Olga Bureneva, Nikolay Safyannikov: Saint-Petersburg State Electrotechnical University “LETI” (дата обращения 01.04.2023 г)
4. Частотно-спектральная характеристика физиологического тремора. Е.А.Александрова, А.В.Густов, И.В.Бородачева, Е.М.Тиманин, Е.В.Еремин, К.М.Беляков, М.Н.Ерохина [Интернет-ресурс] URL: https://cyberleninka.ru/article/n/chastotno-spektralnaya-harakteristika-fiziologicheskogo-tremora/viewer (дата обращения 01.04.2023г)
5. Электромиография [Интернет-ресурс] URL: https://www.kp.ru/ doctor/diagnostika/elektromiografiya/ (дата обращения 01.04.2023г)
6. Современные инструментальные методы регистрации тремора И.А. Иванова Смоленская, А.В. Карабанов, А.В. Червяков, С.Н. Иллариошкин [Интернет-ресурс] URL: http://www.neurocor.ru/files/ upload/305/file.pdf?v=1486471110 (дата обращения 01.04.2023г)
7. КЛИНИКО-АКСЕЛЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТРЕМОРА [Интернет-ресурс] URL: https://www.5gkb.by/uslugi/napravleniya/ nevrologiya/stati/kliniko-akselerometricheskaya-otsenka-tremora/ (дата обращения 01.04.2023г)
8. Тензометрический треморограф [Интернет-ресурс] URL: https://etu.ru/ru/nauchnaya-i-innovacionnaya-deyatelnost/tehnopark/nauchno-tehnicheskaya-produkciya-tehnoparka/tenzometricheskij-tremorograf (дата обращения 01.04.2023г)
9. Тензометрическая треморография в прецизионных системах медицинской диагностики Zoya Aleksanyan, Olga Bureneva, Nikolay Safyannikov [Интернет-ресурс] URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/ 30271224/ (дата обращения 06.04.2023 г)
10. Особенность активности нервной системы при управлении движением. Текст научной статьи по специальности «Медицинские технологии» Романов Сергей Петрович, Алексанян Зоя Араратовна [Интернет-ресурс] URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osobennost-aktivnosti-nervnoy-sistemy-pri-upravlenii-dvizheniem/viewer (дата обращения 06.04.2023 г)
11. Изометрическое усилие [Интернет-ресурс] URL: http://mosmedclinic.ru›conf\_library/2003/5/462/ (дата обращения 06.04.2023 г)
12. Машинные методы анализа треморограмм для оценки функционального состояния человека Н. М. Сафьянников, О. И. Буренева -Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), З. А. Алексанян - Институт Мозга Человека им. Н.П. Бехтеревой РАН
13. Некоторые задачи вычислительной математики [Интернет-ресурс] URL: http://pitf.ftf.nstu.ru/files/zaikin/2018/Lec1.pdf (дата обращения 01.05.2022г.)
14. Карлин А. М., Стойчев С. Г. Метод наименьших квадратов и его применение в анализе данных. М.: Финансы и статистика, 1983.
15. Вейвлет – анализ. Основы [Интернет-ресурс] URL: https://habr.com/ru/articles/449646/ (дата обращения 01.05.2022г.)
16. Mallat, S. (1999). A wavelet tour of signal processing: The sparse way. Academic press.
17. Wang, X., Chen, H., Zhang, X., & Li, K. (2018). A novel approach for tremor detection based on a convolutional neural network. Journal of neuroscience methods, 305, 23-29.
18. Barua, S., Islam, M. M., & Kundu, D. (2021). A novel deep learning approach for the detection and classification of tremor using convolutional neural network. Journal of Medical Systems, 45(1), 1-14.
19. Choudhury, M. A., Roy, P. K., Sarker, S., & Uddin, M. S. (2021). A novel deep convolutional neural network-based approach for tremor classification. Computers in Biology and Medicine, 136, 104660.
20. How to Calculate Moving Averages in Python? [Интернет-ресурс] URL: https://translated.turbopages.org/proxy\_u/en-ru.ru.74254424-645128ff-e57edaa7-74722d776562/https/www.geeksforgeeks.org/how-to-calculate-moving-averages-in-python/ (дата обращения 01.05.2022г.)
21. Критерии и методы [Интернет-ресурс] URL https://medstatistic.ru/methods/methods8.html (дата обращения 10.04.2022г.)
22. Расчет коэфициента корреляции Пирсона [Интернет-ресурс] URL: https://rukovodstvo.net/posts/id\_651/ (дата обращения 10.04.2022г.)
23. Выбираем язык программирования: что нужно знать о Python [Интернет-ресурс] URL: https://skillbox.ru/media/code/vybiraem\_yazyk\_ programmirovaniya\_chto\_nuzhno\_znat\_o\_python/ (дата обращения 10.04.2022г.)
24. Выбираем самый удобный редактор кода Python [Интернет-ресурс] URL: https://habr.com/ru/companies/skillfactory /articles/521838/ (дата обращения 10.04.2022г.)
25. Matplotlib. Урок 4.1. Визуализация данных. Линейный график [Интернет-ресурс] URL: https://devpractice.ru/matplotlib-lesson-4-1-viz-linear-chart/ (дата обращения 06.04.2023 г)
26. Кредитный калькулятор [Интернет-ресурс] URL: https://www.sberbank.ru/ru/person/credits/money/kreditnyj\_kalkulyator (дата обращения 04.05.2023 г)
27. Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования [Интернет-ресурс] URL: https://studentopedia.ru/informatika/zatrati-na-soderzhanie-i-ekspluataciyu-oborudovaniya--opredelenie-velichini-prochih-pryamih-rashodov.html (дата обращения 01.05.2023 г)
28. НК РФ Статья 258. Амортизационные группы (подгруппы). Особенности включения амортизируемого имущества в состав амортизационных групп (подгрупп) [Интернет-ресурс] URL: https://www.consultant.ru/document/cons\_doc\_LAW\_28165/92b60a20c6a0b9a44d8dcc235f3a47d5e2442526/ (дата обращения 01.05.2023 г)
29. Ставка дисконтирования: суть и методы расчёта [Интернет-ресурс] URL: https://journal.open-broker.ru/economy/stavka-diskontirovaniya-sut-i-metody-rascheta/ (дата обращения 04.05.2023 г)

# ПРИЛОЖЕНИЕ А