**Бюджетное Учреждение Высшего Образования**

**Ханты-Мансийского автономного округа – Югры**

**«СУРГУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Политехнический институт

Кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления

**Курсовой проект по дисциплине «Проектирование и эксплуатация ИЭС»**

Тема курсовой работы:

**«Анализ изменений сердечного ритма под воздействием акустических сигналов на основе искусственных нейронных сетей»**

Выполнил: студент группы 606-12

Зубайраев Дени Русланович

Проверил: Доцент кафедры АСОИУ, к. т. н.

Гавриленко Тарас Владимирович

Сургут, 2025 г.

**СОДЕРЖАНИЕ**

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc195615963)

[АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ 7](#_Toc195615964)

[1.1. Сердечный ритм и его реакция на акустические стимулы 7](#_Toc195615965)

[1.2. Акустические характеристики и структура музыкальных сигналов 8](#_Toc195615966)

[1.3. Искусственные нейронные сети и методы обработки данных 9](#_Toc195615967)

[ОБЗОР АНАЛОГОВ 11](#_Toc195615968)

[2.1. Существующие решения 11](#_Toc195615969)

[2.2. Сравнительный анализ аналогов 13](#_Toc195615970)

[2.3. Выводы по обзору аналогов 14](#_Toc195615971)

[ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ 16](#_Toc195615972)

[3.1. Общие сведения 16](#_Toc195615973)

[3.2. Назначение и цели разработки 16](#_Toc195615974)

[3.3. Требования к системе 17](#_Toc195615975)

[3.4. Основные пользователи 20](#_Toc195615976)

[ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ 21](#_Toc195615977)

[4.1 BPMN-диаграмма 21](#_Toc195615978)

[4.1.1 Первоначальная настройка и сбор обучающих данных 23](#_Toc195615979)

[4.1.2 Выбор пользователем физической активности и получение рекомендаций 23](#_Toc195615980)

[4.1.3 Анализ данных с использованием искусственной нейронной сети 24](#_Toc195615981)

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы наблюдается активное развитие технологий, направленных на мониторинг и анализ физиологических состояний человека в режиме реального времени. Одним из перспективных направлений, сочетающим в себе достижения биомедицины, нейротехнологий и машинного обучения, является интеллектуальный анализ биосигналов с целью персонализации повседневной активности. В частности, значительный интерес представляет исследование влияния акустических сигналов, таких как музыкальные композиции, на сердечно-сосудистую систему человека, особенно в условиях физической активности. Музыка играет важную роль в жизни большинства людей и активно используется в спорте, фитнесе, реабилитации и даже терапии. Однако её влияние на физиологическое состояние носит сложный и многогранный характер, обусловленный индивидуальными особенностями восприятия, жанровыми предпочтениями, ритмической структурой трека и текущим физическим состоянием человека.

Музыкальные треки, подбираемые с учётом индивидуальной реакции организма, способны не только повышать мотивацию к тренировкам, но и способствовать оптимизации сердечного ритма, снижению тревожности и утомляемости. На сегодняшний день подавляющее большинство музыкальных рекомендаций формируется исключительно на основе пользовательских предпочтений или общих параметров треков, таких как темп (BPM) или жанр. При этом практически не учитываются физиологические показатели, фиксируемые в реальном времени. В условиях, когда носимые устройства, такие как пульсоксиметры и фитнес-браслеты, становятся всё более доступными и функциональными, возникает объективная необходимость интеграции данных биосигналов в интеллектуальные системы принятия решений. Это позволяет перейти от субъективных рекомендаций к объективным, основанным на данных, подходам в подборе музыкального сопровождения.

Существующие методы анализа эмоционального и физиологического состояния человека в ответ на музыкальные стимулы часто ограничены лабораторными условиями, статичными протоколами и небольшим числом участников. В реальной практике спортсменам и активным пользователям важно иметь доступ к автоматизированным решениям, которые способны адаптироваться к изменению пульса и другим показателям в ходе тренировки, предлагая музыку, максимально соответствующую текущему состоянию организма. Таким образом, выявляется проблема отсутствия систем, способных в реальном времени адаптировать музыкальный поток на основе объективных физиологических данных, что ограничивает персонализированный подход к тренировкам и снижает общую эффективность музыкального сопровождения. Актуальность данной темы подтверждается следующими факторами:

* Расширяющиеся возможности носимых устройств и датчиков, фиксирующих физиологические параметры, включая пульс, насыщение кислородом и уровень физической активности.
* Увеличение интереса к персонализированным технологиям в спорте и фитнесе, направленным на повышение эффективности тренировочного процесса.
* Наличие научных данных о взаимосвязи между аудиостимуляцией и физиологическими реакциями, в том числе на уровне сердечного ритма.
* Недостаток практических инструментов, интегрирующих биометрические данные в процессы подбора музыкальных треков.
* Возрастающий спрос на интеллектуальные системы, которые адаптируются к индивидуальным физиологическим реакциям пользователей в реальном времени.

Объектом настоящего исследования является физиологическая реакция организма, в частности изменение сердечного ритма, под воздействием акустических сигналов различного характера. Это могут быть музыкальные композиции разных жанров, ритмов, частотных характеристик и уровней громкости. Предметом исследования выступает интеллектуальная система, реализующая анализ изменений пульса на основе данных пульсоксиметра с применением методов искусственных нейронных сетей. Такая система должна обеспечивать автоматический подбор музыкальных треков, которые оказывают наиболее благоприятное влияние на сердечно-сосудистую систему конкретного пользователя во время физической активности. При этом ключевым моментом является не только фиксация изменения пульса, но и построение модели предсказания реакции организма на тот или иной акустический стимул.

Целью работы является разработка и исследование интеллектуального программного обеспечения, способного в реальном времени анализировать изменения сердечного ритма под воздействием музыки и, на основе полученных данных, формировать рекомендации по выбору наиболее подходящих аудиотреков. В основе системы лежат алгоритмы искусственных нейронных сетей, обученные на экспериментальных данных, включающих пульсовую активность и характеристики музыкальных файлов. В результате предполагается создать прототип приложения, интегрируемого с датчиком пульсоксиметра, который будет адаптировать музыкальное сопровождение к текущему состоянию организма пользователя.

Для достижения поставленной цели в ходе выполнения работы необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить влияние различных музыкальных параметров (темп, ритм, жанр, частотные характеристики) на сердечный ритм человека.
2. Проанализировать существующие научные и прикладные подходы к подбору музыки с учётом физиологических данных.
3. Определить архитектурные особенности систем, обрабатывающих данные пульсоксиметров, и выбрать оптимальные методы фильтрации и нормализации сигналов.
4. Разработать архитектуру искусственной нейронной сети, предназначенной для анализа и предсказания изменений пульса в ответ на прослушивание музыкальных треков.
5. Реализовать прототип программного обеспечения, объединяющего нейросетевую модель, интерфейс взаимодействия с пульсоксиметром и модуль анализа треков.
6. Провести экспериментальное тестирование системы на добровольцах в условиях контролируемых физических нагрузок.
7. Оценить точность, полноту и практическую применимость разработанной модели, а также сформировать рекомендации по её использованию в реальной среде.

Научная новизна работы заключается в интеграции физиологических данных, полученных в реальном времени, с характеристиками акустических сигналов в рамках единой интеллектуальной модели на базе нейронных сетей. Предлагаемый подход выходит за рамки традиционного подбора музыки по жанру или темпу, предоставляя возможность персонализированного аудиосопровождения, основанного на текущем физиологическом состоянии пользователя. Особое внимание уделяется построению модели, способной обучаться и адаптироваться к индивидуальным особенностям реакции на музыкальные стимулы, что позволяет повысить точность предсказаний и общую эффективность применения системы.

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения разработанного программного обеспечения в повседневной практике спортсменов, тренеров и пользователей, стремящихся повысить качество своих тренировок. Система может быть использована в фитнес-приложениях, носимых устройствах, реабилитационных программах и спортивной медицине для повышения мотивации, контроля состояния и предотвращения перегрузок. Автоматизация процесса подбора музыки позволяет снизить когнитивную нагрузку на пользователя и делает тренировку более комфортной и эффективной. Таким образом, представленная работа направлена на развитие интеллектуальных технологий в сфере здоровья и спорта, открывая новые перспективы для персонализированного подхода в управлении физическим состоянием человека.

АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

При разработке системы анализа изменений сердечного ритма под воздействием акустических сигналов на основе искусственных нейронных сетей необходимо провести всестороннее исследование предметной области. Это позволит определить ключевые характеристики акустических воздействий, особенности физиологических реакций организма и требования к архитектуре интеллектуальной системы. В данном разделе рассматриваются три основных компонента предметной области: физиология сердечного ритма и его связь с аудиостимулами, акустические характеристики музыкальных треков и методы обработки данных с применением искусственных нейронных сетей.

1.1. Сердечный ритм и его реакция на акустические стимулы

Сердечный ритм — один из наиболее информативных физиологических показателей, отражающий общее состояние сердечно-сосудистой системы. Он определяется частотой сокращений сердца в единицу времени и может изменяться под воздействием как физических нагрузок, так и психоэмоциональных факторов, включая воздействие звуков и музыки. Современные исследования подтверждают, что музыкальные композиции способны оказывать значительное влияние на пульс, артериальное давление и уровень стресса человека.

Музыка воздействует на автономную нервную систему, регулирующую деятельность сердца. В зависимости от темпа, ритма и тональности композиции может происходить возбуждение или, наоборот, торможение сердечной активности. К числу основных эффектов воздействия музыки на сердечный ритм можно отнести:

* **Стимулирующее влияние**: Быстрая и ритмичная музыка (например, с темпом более 120 ударов в минуту) способствует учащению сердечного ритма, что полезно при активных физических тренировках.
* **Расслабляющее влияние**: Медленные и мелодичные композиции снижают частоту сердечных сокращений, вызывая чувство покоя и способствуя восстановлению.
* **Эмоциональная модуляция**: Эмоционально насыщенные треки (например, с выраженными гармониями или вокалом) могут вызывать резкие колебания пульса за счёт усиленной эмоциональной реакции.

Учитывая это, разработка системы подбора музыкальных треков должна учитывать не только жанровые предпочтения пользователя, но и их физиологическую реакцию на конкретные аудиостимулы, зафиксированную в данных с пульсоксиметра.

1.2. Акустические характеристики и структура музыкальных сигналов

Музыкальные треки обладают множеством параметров, которые необходимо учитывать при анализе их влияния на сердечный ритм. К числу таких характеристик относятся:

* **Темп (BPM, beats per minute)** — скорость звучания композиции. Один из наиболее значимых параметров, прямо коррелирующих с изменениями пульса.
* **Динамика** — колебания громкости и интенсивности звучания, способные влиять на эмоциональное восприятие.
* **Частотный спектр** — распределение звуковых частот, определяющее «окрас» композиции и её восприятие.
* **Ритмическая структура** — наличие чётких ударов и повторяющихся фраз, способствующих синхронизации движений и ритма сердечной деятельности.
* **Музыкальный жанр** — различные жанры (например, рок, классика, электроника) могут вызывать разные физиологические реакции.

Для построения интеллектуальной системы необходимо провести извлечение признаков из музыкального сигнала с использованием таких методов, как анализ мел-частотных кепстральных коэффициентов (MFCC), преобразование Фурье, фильтрация по частотам, а также выделение темпа и амплитудной огибающей. Эти признаки впоследствии будут использоваться в качестве входных данных для нейросетевой модели.

Важно отметить, что восприятие музыки носит субъективный характер. Поэтому построение системы, адаптирующейся к индивидуальным особенностям пользователя, требует не только технической обработки сигнала, но и привязки полученных данных к конкретным физиологическим реакциям, зафиксированным в ходе прослушивания.

1.3. Искусственные нейронные сети и методы обработки данных

Для построения системы анализа и предсказания изменений сердечного ритма в ответ на акустические сигналы целесообразно использовать методы искусственного интеллекта, в частности — искусственные нейронные сети (ИНС). Они обладают высокой способностью к обобщению, обучаются на эмпирических данных и способны выявлять сложные нелинейные зависимости между характеристиками аудиосигналов и физиологическими реакциями организма.

В рамках данной работы предполагается применение следующих типов нейронных сетей:

* **Свёрточные нейронные сети (CNN)** — применяются для анализа спектрограмм аудиофайлов, рассматриваемых как двумерные изображения. Эффективны при выделении частотно-временных признаков, таких как изменение амплитуды и частотных пиков.
* **Рекуррентные нейронные сети (RNN, LSTM, GRU)** — позволяют учитывать временную зависимость между музыкальным сигналом и реакцией организма, анализируя изменения ритма во времени.
* **Полносвязные нейронные сети (Dense layers)** — используются на финальных этапах обработки для предсказания конкретных физиологических показателей на основе извлечённых признаков.
* **Гибридные архитектуры** — комбинации CNN и LSTM обеспечивают высокую точность при анализе сложных временных аудиосигналов, что особенно важно при обработке длинных музыкальных фрагментов.

Нейронная сеть обучается на экспериментальных данных, содержащих пары: параметры аудиотреков и соответствующие значения пульса до, во время и после прослушивания. В процессе обучения осуществляется настройка весов модели, минимизирующих ошибку предсказания. Для оценки эффективности модели применяются такие метрики, как среднеквадратичная ошибка (MSE), коэффициент детерминации (R²), а также визуализация предсказанных и фактических графиков пульса.

Проведённый анализ предметной области показывает, что интеграция данных о сердечном ритме и характеристиках музыкальных треков с использованием нейросетевых моделей представляет собой перспективный подход для построения персонализированной системы подбора музыки. Использование ИНС позволяет учитывать индивидуальные реакции пользователя, обеспечивая высокий уровень точности и адаптивности, что делает данную технологию особенно востребованной в спортивной и оздоровительной практике.

ОБЗОР АНАЛОГОВ

В области анализа физиологических реакций на акустические сигналы существует ограниченное количество специализированных решений, непосредственно ориентированных на предсказание изменений сердечного ритма под воздействием музыки. Тем не менее, в смежных сферах — фитнес-технологиях, биомониторинге, музыкальных рекомендациях и адаптивных интеллектуальных системах — разработаны различные подходы, которые могут быть полезны для проектирования целевой системы. В данном разделе рассматриваются существующие решения, их особенности, преимущества и недостатки, а также проводится сравнительный анализ применимости этих решений к задаче, поставленной в настоящей работе.

2.1. Существующие решения

1. **Фитнес-приложения с интеграцией пульсометра**  
   Многие современные приложения, такие как Nike Training Club, Strava, Adidas Runtastic и Garmin Connect, собирают данные о сердечном ритме пользователя с носимых устройств (пульсоксиметров, фитнес-браслетов, «умных» часов). Однако эти приложения не осуществляют интеллектуальный анализ воздействия аудиостимулов на пульс. Музыкальное сопровождение в них статично или выбирается пользователем вручную.

**Преимущества:**

* Высокая точность данных о пульсе.
* Возможность использования с широким спектром устройств.
* Поддержка тренировочных сценариев с разной интенсивностью.

**Недостатки:**

* Отсутствие адаптации музыкального потока к физиологическим изменениям.
* Нет анализа взаимосвязи между пульсом и аудио.
* Ограниченные интеллектуальные функции по выбору треков.

1. **Музыкальные рекомендательные системы**  
   Сервисы Spotify, YouTube Music, Deezer и Apple Music используют сложные алгоритмы рекомендаций, включая модели машинного обучения и глубокие нейросети. Алгоритмы учитывают предпочтения пользователя, жанровую совместимость, поведение при прослушивании и даже настроение (определяемое на основе плейлистов или активности).

Примером может служить Spotify Enhance и Spotify Audio Features API, предлагающие анализ треков по темпу, тональности, танцевальности и уровню энергии. Однако физиологические данные в этих системах не учитываются.

**Преимущества:**

* Развитая инфраструктура для анализа музыкального контента.
* Высокая персонализация на основе поведения пользователя.
* Богатая база музыкальных метаданных (BPM, key, energy, valence и др.).

**Недостатки:**

* Отсутствие обратной связи с физиологическими данными.
* Нет адаптации рекомендаций к пульсовой активности.
* Используются поведенческие, а не биометрические показатели.

1. **Научные и исследовательские системы**  
   В ряде научных работ разрабатывались прототипы систем, исследующих влияние музыки на сердечно-сосудистую систему. Например, в экспериментах Университета Торонто и Массачусетского технологического института (MIT) применялись биосенсоры для оценки реакции человека на музыку. Эти работы подтверждают наличие статистически значимой связи между типом музыки и изменением ЧСС.

**Преимущества:**

* Глубокий анализ физиологических реакций.
* Подтверждённые модели корреляции музыкальных параметров и ЧСС.
* Применение нейросетевых моделей (LSTM, CNN) в прототипах.

**Недостатки:**

* Системы не адаптированы для массового использования.
* Ограниченное количество исследуемых музыкальных фрагментов.
* Неинтегрированы с реальными носимыми устройствами и сервисами.

1. **Прототипы биофидбэк-систем**  
   Прототипы, объединяющие музыку и физиологические данные, встречаются в проектах MoodMusic и BioBeats. Они используют пульс или уровень стресса (определяемый по вариабельности сердечного ритма — HRV) для генерации или выбора музыки. Применяются как в терапии, так и в расслабляющих или обучающих целях.

**Преимущества:**

* Прямая связь между биоданными и музыкальным контентом.
* Возможность генерации звукового потока в реальном времени.
* Психотерапевтический потенциал.

**Недостатки:**

* Ограниченная библиотека треков.
* Низкая точность предсказаний без ИНС.
* Ограниченная масштабируемость.

2.2. Сравнительный анализ аналогов

Для оценки релевантности существующих решений приведена сравнительная таблица с основными характеристиками систем.

**Таблица 1 — Сравнение аналогов по ключевым параметрам**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Характеристика | Фитнес-приложения | Музыкальные сервисы | Научные системы | Биофидбэк-прототипы |
| Учёт сердечного ритма | Да | Нет | Да | Да |
| Учёт музыкальных параметров | Нет | Да | Частично | Частично |
| Использование ИНС | Нет | Частично | Да | Редко |
| Интеграция с пульсоксиметром | Да | Нет | Частично | Да |
| Адаптация музыки по пульсу | Нет | Нет | Экспериментально | Частично |
| Массовая доступность | Высокая | Высокая | Низкая | Низкая |
| Возможность реального времени | Да | Да | Ограничена | Частично |

**Выводы по сравнению:**

* Только биофидбэк-системы ориентированы на реальное взаимодействие музыки и сердечного ритма.
* Музыкальные сервисы обеспечивают лучший анализ треков, но не учитывают биофидбэк.
* Научные системы обладают высокой точностью, но требуют сложной настройки.
* Ни одно решение не объединяет в полной мере анализ биосигналов и музыкальных параметров с помощью ИНС.

2.3. Выводы по обзору аналогов

Проведённый анализ показал, что в настоящее время отсутствуют массово доступные системы, которые бы сочетали:

* постоянный мониторинг сердечного ритма в реальном времени;
* интеллектуальный анализ музыкальных параметров;
* обучение на основе нейросетевых моделей;
* адаптацию музыкальных рекомендаций в зависимости от физиологической реакции пользователя.

Существующие решения либо ограничиваются визуализацией пульса, либо используют поведенческую аналитику без привязки к биофидбэку. Наиболее перспективным направлением представляется создание мультимодальной интеллектуальной системы, объединяющей данные пульсоксиметра и характеристики аудиотреков с помощью искусственных нейронных сетей. Использование CNN для анализа спектрограмм музыки и LSTM для предсказания реакции пульса обеспечит высокую точность адаптивной модели. Такой подход не реализован ни в одной из коммерчески доступных систем и открывает возможности для персонализированного подбора музыкального сопровождения в спорте и оздоровительных практиках.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

****3.1. Общие сведения****

3.1.1. Наименование темы (проекта)

Полное наименование: «Анализ изменений сердечного ритма под воздействием акустических сигналов на основе искусственных нейронных сетей».

3.1.2. Основания для разработки

* Курсовая работа в рамках Сургутского государственного университета.
* Письменное задание научного руководителя от «01» марта 2025 г.
* Цель разработки — создание системы, анализирующей влияние музыкальных треков на сердечный ритм человека с использованием искусственных нейронных сетей для автоматического подбора аудиосопровождения, соответствующего физиологическому состоянию пользователя.

3.1.3. Исполнители

* Студент: Зубайраев Дени Русланович, группа 606-12
* Научный руководитель: Гавриленко Тарас Владимирович, доцент кафедры АСОИУ, к.т.н.

3.1.4. Дата начала и дата окончания работ

* Начало работ: «**» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2025 г.**
* **Окончание работ: «**» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2025 г.

****3.2. Назначение и цели разработки****

3.2.1. Назначение

Разрабатываемая интеллектуальная система предназначена для анализа изменений сердечного ритма человека при прослушивании музыкальных композиций. Система ориентирована на применение в области спорта, фитнеса и оздоровительной деятельности. Она автоматически подбирает музыкальные треки, оказывающие успокаивающее или стимулирующее влияние на сердечный ритм, на основе данных с пульсоксиметра и анализа характеристик аудиосигналов. Это позволяет повысить эффективность тренировочного процесса, мотивацию пользователя и персонализировать аудиосреду в зависимости от текущего состояния организма.

3.2.2. Цели и задачи

**Главная цель** — разработка интеллектуальной системы, способной в реальном времени прогнозировать изменение сердечного ритма в ответ на акустические сигналы и рекомендовать подходящие треки на основе нейросетевой модели.

**Задачи:**

1. Исследование предметной области, включая влияние музыки на физиологические показатели человека.
2. Обзор аналогов в сфере музыкальных рекомендаций и анализа биосигналов.
3. Разработка архитектуры системы с использованием искусственных нейронных сетей.
4. Сбор и подготовка обучающего датасета, содержащего данные пульса и параметры музыкальных треков.
5. Реализация алгоритмов предсказания пульса и классификации воздействия аудиотреков.
6. Интеграция модели с реальными устройствами мониторинга (например, пульсоксиметром).
7. Тестирование системы на пользователях, анализ результатов с применением метрик MAE, RMSE и точности рекомендаций.
8. Разработка пользовательского интерфейса и системы визуализации данных.
9. Подготовка отчётной документации и рекомендаций по внедрению.

****3.3. Требования к системе****

3.3.1. Функциональные требования

1. **Сбор физиологических данных**

* Захват показаний пульса в реальном времени.
* Обработка временных рядов ЧСС и вариабельности пульса (HRV).

1. **Обработка аудиосигналов**

* Извлечение признаков (BPM, частотный спектр, громкость, тональность, спектральная центроидность и др.).
* Формирование вектора признаков трека для анализа и сравнения.

1. **Прогнозирование и классификация**

* Предсказание реакции сердечного ритма на основе параметров аудио.
* Оценка эффекта трека: расслабляющий / нейтральный / возбуждающий.

1. **Рекомендательная логика**

* Подбор треков на основе текущего состояния и желаемого эффекта.
* Возможность персонализации рекомендаций.

1. **Визуализация**

* Отображение пульса и прогноза на графике.
* Информация о текущем треке и его характеристиках.

1. **Хранение данных**

* Логирование изменений пульса и аудиоистории.
* Возможность выгрузки отчётов в PDF и CSV.

1. **Обратная связь и адаптация**

* Обновление модели на основе пользовательских данных.
* Учет индивидуальных реакций на музыку.

3.3.2. Нефункциональные требования

1. **Производительность**

* Предсказание реакции на трек — не более 500 мс.
* Обработка данных пульса — 1 Гц и выше.

1. **Надёжность**

* Устойчивость к потере сигнала и помехам.
* Обработка выбросов и ошибок датчика.

1. **Масштабируемость**

* Поддержка расширяемых библиотек треков и пользовательских настроек.
* Возможность подключения нескольких датчиков.

1. **Интерфейс**

* Удобный UI для мобильных и десктопных платформ.
* Поддержка сенсорного управления.

1. **Конфиденциальность**

* Соответствие ФЗ-152 «О персональных данных».
* Хранение и шифрование пользовательских данных.

1. **Точность**

* MAE не более 5 ударов/мин.
* Точность классификации типа воздействия — не менее 85%.

3.3.3. Требования к программному обеспечению

1. **Языки программирования**: Python
2. **Среда разработки**:

* PyCharm
* VS Code
* Jupyter Notebook

1. **Библиотеки**:

* PyTorch / TensorFlow (нейронные сети)
* Librosa (аудиоанализ)
* Pandas, NumPy (обработка данных)
* Matplotlib / Seaborn (визуализация)
* Flask / Streamlit (интерфейс, при необходимости)
* **СУБД**: SQLite (локально), PostgreSQL (серверно)
* **Датасеты**: DEAM, AMIGOS, GTZAN, экспериментальные пользовательские данные

3.3.4. Требования к аппаратному обеспечению

1. **Пульсометр / Пульсоксиметр**:

* Частота обновления — не менее 1 Гц
* Интерфейс — Bluetooth / USB

1. **Аудиосистема**:

* Наушники или динамики высокого качества

1. **ПК / ноутбук**:

* CPU: Intel i5 / Ryzen 5 и выше
* RAM: не менее 8 ГБ (рекомендуется 16 ГБ)
* GPU: NVIDIA GTX 1660 или выше (для обучения моделей)
* SSD: от 256 ГБ
* ОС: Windows 10/11, Ubuntu 20.04+

1. **Мобильное устройство (Android)**:

* ОС: Android 9.0 и выше
* Поддержка Bluetooth Low Energy (BLE)
* ОЗУ: не менее 3 ГБ
* Наличие встроенного датчика пульса (опционально)
* Аудиовыход или Bluetooth-наушники
* Поддержка Google Play Services для работы с API и SDK

****3.4. Основные пользователи****

1. **Спортсмены и любители фитнеса** — использование в тренировках, адаптация музыкального фона для стимуляции или релаксации.
2. **Разработчики и интеграторы** — встраивание модуля в фитнес-приложения и умные устройства.
3. **Исследователи и студенты** — использование для анализа влияния акустических сигналов на физиологию.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ

Для проектирования мультимодальной системы распознавания эмоций человека необходимо построить BPMN-диаграмму для описания бизнес-процесса, DFD-диаграмму для отображения потоков данных, IDEF0-диаграмму для представления общей структуры системы, ER-диаграмму для описания структуры базы данных, а также схему интерфейса для определения концепции взаимодействия с пользователем.

4.1 BPMN-диаграмма

Одним из первых этапов проектирования системы является построение BPMN-диаграммы, отражающей последовательность действий в рамках бизнес-процесса подбора музыкальных треков на основе анализа сердечного ритма пользователя.

Разрабатываемое программное обеспечение предназначено для использования любителями спорта и ориентировано на персонализированный подбор музыкального сопровождения в зависимости от типа физической активности, текущего пульса и реакции организма на акустические сигналы.

BPMN-диаграмма демонстрирует взаимодействие между пользователем, мобильным приложением и серверной частью, на которой функционирует искусственная нейронная сеть. Диаграмма иллюстрирует процесс от момента запуска тренировки до завершения сеанса, включая анализ физиологических данных и динамическую настройку музыкального сопровождения в режиме реального времени.

В рамках построенной BPMN-диаграммы выделены следующие основные участники (пулы):

* Пользователь;
* Мобильное приложение;
* Сервер / ИИ-модель.

Далее представлена таблица обозначений нотации BPMN:

Таблица 2. Обозначения в нотации BPMN

| Объект | Описание |
| --- | --- |
|  | Начало работы системы |
|  | Конец работы системы |
|  | Процесс |
|  | Хранилище данных |
|  | Обозначение глобального процесса |
|  | Документ/отчет |
|  | Условное разветвление бизнес-процесса |

Далее представлена построенная BPMN-диаграмма

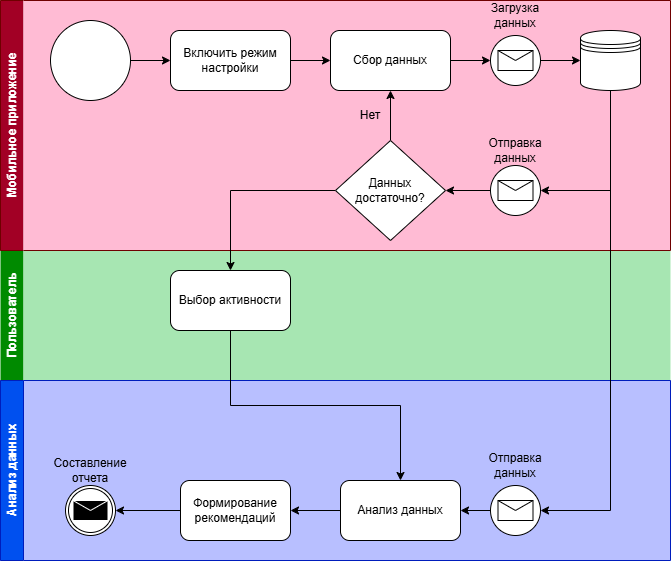


Рисунок 1. BPMN-диагррама системы

Глобально бизнес-процесс функционирования разрабатываемого программного обеспечения можно условно разделить на три логических модуля:

* Первоначальная настройка и сбор обучающих данных
* Выбор пользователем физической активности и получение рекомендаций
* Анализ данных с использованием искусственной нейронной сети

### **Первоначальная настройка и сбор обучающих данных**

Процесс начинается с запуска пользователем режима настройки. На данном этапе мобильное приложение собирает информацию о прослушиваемых музыкальных треках и фиксирует значения пульса, полученные с носимого устройства. Эти данные необходимы для последующего анализа зависимости между акустическими характеристиками музыки и реакцией организма пользователя. Собранная информация сохраняется в базу данных.

В случае недостаточного объема данных приложение продолжает сбор до тех пор, пока не будет достигнут минимально необходимый порог заполненности базы для генерации достоверных рекомендаций.

### **4.1.2 Выбор пользователем физической активности и получение рекомендаций**

После накопления обучающих данных пользователь может выбрать желаемый тип физической активности (например, бег, ходьба, силовая тренировка). Приложение инициирует процесс подбора треков, наиболее соответствующих выбранной активности и индивидуальным физиологическим реакциям пользователя.

### **4.1.3 Анализ данных с использованием искусственной нейронной сети**

Серверная часть системы, на которой реализована нейросетевая модель, обрабатывает накопленные в базе данных данные. На основе анализа взаимосвязи между музыкальными параметрами и пульсом пользователя формируется список музыкальных треков, способных вызывать желаемый физиологический отклик.

Результатом анализа является персонализированный набор рекомендаций, адаптированных под текущую активность пользователя. Полученный список треков отображается в мобильном приложении, после чего может быть воспроизведён для сопровождения физической нагрузки.

BPMN-диаграмма, построенная на основе вышеописанных процессов, отражает последовательность действий, взаимодействие с базой данных, работу нейронной сети, а также условные развилки, обеспечивающие адаптивность поведения системы.