**Содержание**

[АННОТАЦИЯ 2](#_Toc198045103)

[1 ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc198045104)

[1.1 Наименование программы 3](#_Toc198045105)

[1.2 Документы, на основании которых ведётся разработка 3](#_Toc198045106)

[2 Назначение и область применения 4](#_Toc198045107)

[2.1 Назначение программы 4](#_Toc198045108)

[**2.1.1 Функциональное назначение 4**](#_Toc198045109)

[**2.1.2 Эксплуатационное назначение 4**](#_Toc198045110)

[2.2 Краткая характеристика области примения программы: 4](#_Toc198045111)

[3 ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ 6](#_Toc198045112)

[3.1 Постановка задачи на разработку программы 6](#_Toc198045113)

[3.2 Состав технических и программных средств 6](#_Toc198045114)

[3.3 Описание архитектуры программного проекта 6](#_Toc198045115)

[**3.3.1 Модульная архитектура 6**](#_Toc198045116)

[**3.3.2 Графический интерфейс 7**](#_Toc198045117)

[3.4 Описание работы с данными 7](#_Toc198045118)

[**3.4.1 Входные данные: 7**](#_Toc198045119)

[**3.4.2 Выходные данные: 7**](#_Toc198045120)

[**3.4.3 Обработка данных: 7**](#_Toc198045121)

[3.5 Описание алгоритма работы программы 7](#_Toc198045122)

[**3.5.1 Загрузка аудиофайла: 7**](#_Toc198045123)

[**3.5.2 Выбор модели разделения: 8**](#_Toc198045124)

[**3.5.3 Разделение аудио: 8**](#_Toc198045125)

[**3.5.4 Воспроизведение и управление: 8**](#_Toc198045126)

[**3.5.5 Сохранение результатов: 8**](#_Toc198045127)

[3.6 Описание и обоснование выбора метода организации входных и выходных данных 8](#_Toc198045128)

[**3.6.1 Входные данные: 8**](#_Toc198045129)

[**3.6.2 Выходные данные: 8**](#_Toc198045130)

[**3.6.3 Обоснование выбора: 8**](#_Toc198045131)

[4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ 10](#_Toc198045132)

[4.1 Ориентировочная экономическая эффективность 10](#_Toc198045133)

[4.2 Предполагаемая потребность 10](#_Toc198045134)

[4.3 Экономические преимущества разработки по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами 10](#_Toc198045135)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 16](#_Toc198045136)

[Приложение 1 17](#_Toc198045137)

[Приложение 2 20](#_Toc198045139)

[Лист регистрации изменений 21](#_Toc198045141)

# АННОТАЦИЯ

Настоящий программный документ представляет собой пояснительную записку к программному проекту «Приложение для разделения аудио на основе нейронных сетей».

Раздел «Введение» включает в себя наименование программы и документ, на основании которого ведётся разработка, с указанием организации, утвердившей данный документ.

В разделе «Назначение и область применения» содержатся функциональное и эксплуатационное назначение программы и краткая характеристика области её применения.

В разделе «Технические характеристики» присутствуют следующие подразделы: постановка задачи на разработку программы, описание функционирования программы, описание и обоснование алгоритма работы программы, описание и обоснование математического алгоритма работы программы, описание выбора метода организации входных и выходных данных, описание работы с файловой системой, описание и обоснование выбора состава технических и программных средств.

В разделе «Ожидаемые технико-экономические показатели» указана предполагаемая потребность и экономические преимущества разработки по сравнению с отечественными и зарубежными образцами или аналогами.

Программный документ разработан в соответствии с требованиями:

1. ГОСТ 19.101-77 Виды программ и программных документов [1];  
2. ГОСТ 19.102-77 Стадии разработки [2];  
3. ГОСТ 19.103-77 Обозначения программ и программных документов [3];  
4. ГОСТ 19.104-78 Основные надписи [4];  
5. ГОСТ 19.105-78 Общие требования к программным документам [5];  
6. ГОСТ 19.106-78 Требования к программным документам, выполненным печатным способом [6];  
7. ГОСТ 19.404-79 Пояснительная записка. Требования к содержанию и оформлению [7].

8. Изменения к Пояснительной записке оформляются согласно ГОСТ 19.603-78 [8], ГОСТ 19.604-78 [9].

# ВВЕДЕНИЕ

## Наименование программы

Наименование программы: «Приложение для разделения аудио на основе нейронных сетей».

Наименование программы на английским языке: «Application for audio separation based on neural networks».

Краткое наименование программы: «AudSep».

## Документы, на основании которых ведётся разработка

Разработка ведется на основании учебного плана подготовки бакалавров по направлению 09.03.04 “Программная инженерия” Факультета компьютерных наук Национального исследовательского университета “Высшая школа экономики” и утвержденной академическим руководителем программы темы курсового проекта.

# Назначение и область применения

## Назначение программы

### Функциональное назначение

«AudSep» представляет собой программное обеспечение, предназначенное для автоматического разделения аудиозаписей на отдельные компоненты с использованием технологий машинного обучения.

Программа должна обеспечивать загрузку аудиофайлов через простой интерфейс с поддержкой drag-and-drop для звуковых файлов. Поддерживаются основные аудиоформаты включая MP3, WAV, FLAC.

Основной функционал программы - разделение аудио на вокал и инструменты с помощью нейронной сети. Пользователь может выбрать предобученную модель. Во время обработки отображается прогресс-бар с возможностью отмены процесса.

Перед сохранением результатов пользователь может прослушать разделенные дорожки через встроенный плеер. Доступны базовые функции воспроизведения, регулировка громкости и выбор участка для прослушивания.

При экспорте пользователь выбирает формат вывода, качество и папку для сохранения. Программа автоматически именует файлы и может обрабатывать несколько треков в очереди. Все пользовательские настройки сохраняются между сессиями.

### Эксплуатационное назначение

Программный продукт рассчитан на пользователей различного уровня подготовки в области обработки аудио: от начинающих энтузиастов до профессиональных звукорежиссеров. Интуитивно понятный интерфейс не требует специальных навыков для базового использования программы.

Результаты работы программы могут быть использованы для дальнейшей обработки в других аудиоредакторах или как конечный продукт для создания караоке-версий, ремиксов и изоляции отдельных инструментов.

## Краткая характеристика области примения программы:

«AudSep» - это десктопное приложение, которое позволяет разделять аудиозаписи на отдельные инструментальные и вокальные дорожки с помощью технологии нейронных сетей. Данное приложение будет показывать высокое качество разделения благодаря использованию нейросетевых технологий.

# ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

## Постановка задачи на разработку программы

Программа "AudSep" разработана для решения следующих задач:

* Предоставление возможности загрузки аудиофайлов форматов WAV и MP3.
* Предоставление возможности выбора модели разделения аудио (HTDemucs [12], MelBand RoFormer [14], BS RoFormer [13]).
* Разделение аудио на отдельные компоненты (вокал, бас, барабаны, гитара, фортепиано и другие инструменты).
* Воспроизведение разделенных компонентов с возможностью регулировки громкости.
* Сохранение результатов разделения в формате WAV, MP3 и FLAC.
* Управление воспроизведением (воспроизведение, пауза, остановка).
* Возможность солирования и отключения отдельных компонентов.
* Отображение визуализации аудио (waveform) для каждого компонента.

## Состав технических и программных средств

Для запуска и работы программы необходимы следующие средства:

* ПК с операционная системой macOS 11+.
* Оперативная память: 8+ ГБ.
* Процессор Apple M1 или выше.
* Монитор с разрешением 1920x1080.

Программа была разработана при помощи следующих средств:

* Язык программирования: Python.
* Фреймворк для машинного обучения: PyTorch.
* Медиаплеер: VLC.

Обоснование выбора технических и программных средств:

* Python выбран как основной язык программирования благодаря своей простоте, широкому набору различных библиотек для работы с нейронными сетями.
* PyTorch используется для реализации нейронных сетей, так как он предоставляет гибкие инструменты для работы с машинным обучением.
* VLC используется для воспроизведения аудио благодаря своей надежности и поддержке различных форматов.

## Описание архитектуры программного проекта

### Модульная архитектура

Программа "AudSep" построена по модульной архитектуре, где каждый компонент отвечает за свою часть функциональности:

* Модели разделения аудио: HTDemucs [12], MelBand RoFormer [14], BS RoFormer [13].
* Графический интерфейс: Обеспечивает взаимодействие с пользователем.
* Аудиообработка: Загрузка, обработка и сохранение аудиофайлов.
* Воспроизведение: Управление воспроизведением аудио.

### Графический интерфейс

Графический интерфейс реализован с использованием библиотеки PyQT, что позволяет создавать современные и интуитивно понятные интерфейсы. Интерфейс включает:

* Кнопки для загрузки аудиофайлов.
* Выбор модели разделения.
* Отображение прогресса разделения.
* Воспроизведение и управление аудио.
* Визуализация аудио (waveform).

## Описание работы с данными

### Входные данные:

* Аудиофайлы форматов WAV, MP3 и FLAC.
* Параметры выбора модели разделения.

### Выходные данные:

* Разделенные аудиокомпоненты (вокал, бас, барабаны, гитара, фортепиано и другие инструменты).
* Визуализация аудио (waveform) для каждого компонента.

### Обработка данных:

* Аудиофайлы загружаются и обрабатываются с использованием библиотек Librosa и SoundFile.
* Разделение аудио выполняется с использованием нейронных сетей, реализованных на PyTorch.
* Результаты разделения сохраняются в формате WAV, MP3 или FLAC.

## Описание алгоритма работы программы

### Загрузка аудиофайла:

* Пользователь выбирает аудиофайл через графический интерфейс.
* Программа загружает файл и проверяет его формат.

### Выбор модели разделения:

* Пользователь выбирает модель разделения (HTDemucs [12], MelBand RoFormer [14], BS RoFormer [13]).
* Программа загружает выбранную модель и настраивает параметры разделения.

### Разделение аудио:

* Программа выполняет разделение аудио на компоненты с использованием выбранной модели.
* Отображается прогресс выполнения операции.

### Воспроизведение и управление:

* Пользователь может воспроизводить, останавливать и регулировать громкость каждого компонента.
* Отображается визуализация аудио (waveform) для каждого компонента.

### Сохранение результатов:

Пользователь может сохранить результаты (предварительно отрегулировав) в форматах WAV, MP3 или FLAC.

## Описание и обоснование выбора метода организации входных и выходных данных

### Входные данные:

* Аудиофайлы форматов WAV и MP3.
* Параметры выбора модели разделения.

### Выходные данные:

* Разделенные аудиокомпоненты (вокал, бас, барабаны, гитара, фортепиано и другие инструменты).
* Визуализация аудио (waveform) для каждого компонента.

### Обоснование выбора:

* Форматы WAV, MP3 и FLAC выбраны для сохранения результатов, так как они обеспечивают высокое качество звука, а также широко распространены в индустрии.
* Визуализация аудио (waveform) позволяет пользователю визуально оценить результат разделения.

# ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

## Ориентировочная экономическая эффективность

В рамках проекта расчёт экономической эффективности программного продукта не производился.

## Предполагаемая потребность

«AudSep» может использоваться музыкантами, звукорежиссерами или продюсерами для извлечения отдельных инструментальных дорожек из миксов, чтобы ремиксировать или анализировать композиции. Для улучшения качества звука, удаления нежелательных шумов или изменения баланса между различными элементами аудиозаписи.

## Экономические преимущества разработки по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами

**Таблица 1.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Название** | **Ссылка** | **Описание** |
| AudSep | https://github.com/prikokes/AudSep | Десктоп приложение для разделения аудио на музыкальные инструменты. Поддерживается WAV, MP3 форматы файлов. |
| MoisesAI | https://moises.ai/ru/ | MoisesAI - это онлайн-платформа, использующая искусственный интеллект для разделения музыкальных треков на отдельные инструменты и вокал. Сервис позволяет извлекать из готовых композиций вокал, бас, ударные, гитару и другие инструменты, а также предлагает дополнительные функции, такие как определение аккордов и изменение темпа или тональности.  Платформа доступна через веб-интерфейс и мобильные приложения, поддерживает форматы MP3 и WAV. Сервис работает по модели подписки: есть бесплатная версия с ограничениями и платные тарифы с расширенными возможностями.  MoisesAI популярен среди музыкантов для разбора партий, создания минусовок и обучения, а также среди продюсеров для работы с ремиксами. |
| SplitterAI | https://vocalremover.org/ru/splitter-ai | SplitterAI - это бесплатный онлайн-сервис для разделения аудиотреков на составляющие компоненты с использованием искусственного интеллекта. В отличие от многих конкурентов, сервис не требует регистрации и предлагает базовый функционал без платной подписки.  Сервис позволяет разделить музыкальную композицию на четыре основные дорожки: вокал, ударные, бас и остальные инструменты. Работает с файлами формата MP3, WAV и других популярных аудиоформатов. Максимальный размер загружаемого файла ограничен 50 МБ.  Основные особенности SplitterAI - это простой минималистичный интерфейс, быстрая обработка файлов и отсутствие необходимости установки дополнительного программного обеспечения. Все операции выполняются через веб-браузер. После обработки пользователь может скачать как отдельные дорожки, так и их комбинации. |
| LALAL.AI | https://www.lalal.ai/ | LALAL.AI - это онлайн-платформа для разделения аудио, использующая собственную технологию Phoenix на основе нейронных сетей. Главное отличие сервиса - высокое качество разделения и возможность работы не только с аудио, но и с видеофайлами.  Сервис предлагает несколько режимов разделения: стандартный Phoenix и улучшенный Phoenix Stems Pro. Пользователи могут извлекать вокал, инструменты, ударные, бас и другие компоненты из аудиотреков. При работе с видео LALAL.AI сохраняет исходное качество видеоряда, заменяя только аудиодорожку.  Поддерживаются все популярные форматы: MP3, WAV, FLAC, MP4, AVI, MOV и другие. Размер загружаемых файлов может достигать 2 ГБ (зависит от тарифа). Обработка происходит на серверах компании с сохранением конфиденциальности - файлы удаляются после завершения работы.  Сервис работает по системе покупки минут обработки, а не по подписке. Новым пользователям доступны бесплатные пробные минуты для тестирования. Интерфейс простой и интуитивно понятный, доступен на разных языках, включая русский. |
| RipX DAW | https://hitnmix.com/ripx-daw/ | RipX DAW - это профессиональное десктопное приложение от компании Audionamix для разделения и редактирования аудио.  Программа использует продвинутые алгоритмы искусственного интеллекта для разделения музыки на составляющие: вокал, бас, ударные, гитару и другие инструменты. Особенность RipX - возможность глубокого редактирования каждой выделенной дорожки, включая точную настройку частот, изменение тональности и темпа. Ключевые возможности включают редактирование отдельных нот, изменение мелодических линий, удаление или добавление инструментов, коррекцию вокала и создание ремиксов. Программа также предлагает инструменты для спектрального редактирования и очистки аудио от шумов.  RipX DAW доступен в двух версиях: стандартной и профессиональной. Профессиональная версия включает дополнительные инструменты для редактирования и более точные алгоритмы разделения. Программа требует мощный компьютер для обработки. |

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 19.101-77 Виды программ и программных документов. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
2. ГОСТ 19.102-77 Стадии разработки. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
3. ГОСТ 19.103-77 Обозначения программ и программных документов. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
4. ГОСТ 19.104-78 Основные надписи. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
5. ГОСТ 19.105-78 Общие требования к программным документам. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
6. ГОСТ 19.106-78 Требования к программным документам, выполненным печатным способом. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
7. ГОСТ 19.201-78 Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
8. ГОСТ 19.603-78 Общие правила внесения изменений. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
9. ГОСТ 19.604-78 Правила внесения изменений в программные документы, выполненные печатным способом. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
10. ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – М.: Изд-во стандартов, 1997.
11. ГОСТ 19.301-79 Программа и методика испытаний. Требования к содержанию и оформлению. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
12. Rouard S., Massa F., Défossez A. Hybrid transformers for music source separation //ICASSP 2023-2023 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). – IEEE, 2023. – С. 1-5.
13. Lu W. T. et al. Music source separation with band-split rope transformer //ICASSP 2024-2024 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). – IEEE, 2024. – С. 481-485.
14. Wang J. C., Lu W. T., Won M. Mel-Band RoFormer for Music Source Separation //arXiv preprint arXiv:2310.01809. – 2023.
15. ZFTurbo. Music-Source-Separation-Training [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/ZFTurbo/Music-Source-Separation-Training (дата обращения: 01.04.2025)

# Приложение 1

# ОПИСАНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ КЛАССОВ ПРОГРАММЫ

В таблице 2 приведено описание основных классов программы их основных методов. Описание всех классов и их методов было решено не вносить в данный документ из-за большого объёма программы.

**Таблица 2**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Класс AudioSeparatorApp** | | | |
| **Методы** | | | |
| Название | Описание аргументов | Описание возвращаемого значения | Назначение |
| select\_file | Не имеет аргументов | Ничего не возвращает | Вызывает окно выбора файла и позволяет пользователю выбрать аудио файл |
| show\_models\_info | Не имеет аргументов | Ничего не возвращает | Отображает окно с информацией о моделях |
| process\_audio | Не имеет аргументов | Ничего не возвращает | Запускает многопоточную обработку аудио |
| \_process\_htdemucs | torch.Tensor, int, torch.device, dict | dict | Разделяет аудио с помощью HTDemucs [12] |
| \_process\_melband\_roformer | torch.Tensor, int, torch.device, dict | dict | Разделяет аудио с помощью MelBand RoFormer [14] |
| \_process\_bs\_roformer | torch.Tensor, int, torch.device, dict | dict | Разделяет аудио с помощью BS RoFormer [13] |
| open\_player | Не имеет аргументов | Ничего не возвращает | Открывает окно аудиоплеера |
| **Класс AudioPlayer** | | | |
| **Методы** | | | |
| Название | Описание аргументов | Описание возвращаемого значения | Назначение |
| prepare\_track | str, dict | Ничего не возвращает | Подготавивает трек для воспроизведения (создает временный файл и waveform). |
| create\_original\_waveform | np.ndarray, list | PIL.Image | Создает изображение waveform для отображения |
| draw\_waveform | str | Ничего не возвращает | Отрисовывает изображение на экране |
| play\_track | str | Ничего не возвращает | Воспроизводит трек выбранный трек |
| stop\_track | str | Ничего не возвращает | Останавливает выбранный трек |
| play\_all | Не имеет аргументов | Ничего не возвращает | Воспроизводит все активные треки |
| stop\_all | Не имеет аргументов | Ничего не возвращает | Останавливает все треки |
| update\_volume | str, float | Ничего не возвращает | Меняет громкость выбранного трека |
| save\_results | Не имеет аргументов | Ничего не возвращает | Сохраняет результаты в файл |
| **Класс BSRoformerLoader** | | | |
| **Методы** | | | |
| Название | Описание аргументов | Описание возвращаемого значения | Назначение |
| download\_weights | Не имеет аргументов | Ничего не возвращает | Скачивает веса модели |
| load | str, torch.device, dict | torch.nn.Module | Загружает и возвращает модель BS RoFormer [13] |
| **Класс HTDemucsLoader** | | | |
| **Методы** | | | |
| Название | Описание аргументов | Описание возвращаемого значения | Назначение |
| download\_weights | Не имеет аргументов | Ничего не возвращает | Скачивает веса модели |
| load | str, torch.device, dict | torch.nn.Module | Загружает и возвращает модель HTDemucs [12] |
| **Класс MelBandRoformerLoader** | | | |
| **Методы** | | | |
| Название | Описание аргументов | Описание возвращаемого значения | Назначение |
| download\_weights | Не имеет аргументов | Ничего не возвращает | Скачивает веса модели |
| load | str, torch.device, dict | torch.nn.Module | Загружает и возвращает модель Mel Band Roformer [14] |

# Приложение 2

# ТЕРМИНОЛОГИЯ

1. **Разделение аудио** — разделение аудиофайла с записанной музыкой на несколько дорожек с инструментами.
2. **drag-and-drop** — это интерфейсная техника, позволяющая пользователю перемещать элементы на экране с помощью мыши или сенсорного ввода. Пользователь "захватывает" элемент, перетаскивает его в нужное место и "отпускает". В данном приложении эта техника должна поддерживаться для звуковых файлов.
3. **solo/mute** —функции, используемые в аудиообработке и звуковом монтаже для изоляции или отключения отдельных дорожек. Solo - функция, которая позволяет прослушивать только выбранные дорожки, временно отключая все невыбранные. Mute - функция, которая полностью отключает звук на выбранной дорожке или источнике, позволяя сосредоточиться на других элементах микса без удаления дорожки.
4. **waveform** — графическое представление звукового сигнала, отображающее изменение амплитуды звука во времени.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Лист регистрации изменений | | | | | | | | | |
| Номера листов (страниц) | | | | | Всего листов (страниц в докум.) | № документа | Входящий  № сопроводит ельного докум. и дата | Подп. | Дата |
| Изм. | Измененных | Замененных | Новых | Аннулированн ых |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |