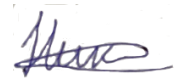


На правах рукописи



Никитин Никита Андреевич

**МОДЕЛИ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОМПЬЮТЕРНОГО
СИНТЕЗИРОВАНИЯ МУЗЫКИ ПО ЦВЕТОВОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ**

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Волгоград - 2022

Работа выполнена на кафедре «Программное обеспечение автоматизированных систем» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Волгоградский государственный технический университет»

Научный руководитель доктор технических наук, доцент,
Орлова Юлия Александровна.

Официальные оппоненты: **Филатова Наталья Николаевна,**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Тверской государственный
технический университет», кафедра
«Автоматизация технологических процессов»,
профессор.

Афанасьева Татьяна Васильевна,
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Российский экономический
университет имени Г.В. Плеханова», кафедра
информатики, профессор;

Ведущая организация Федеральный исследовательский центр
«Информатика и управление» Российской
академии наук г. Москва.

Защита состоится «29» сентября 2022 г. в ____ часов на заседании диссертационного совета 24.2.282.08, созданного на базе ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» по адресу: 400005, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28., ау. 209.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» и на сайте <http://vstu.ru/nauka/dissertatsionnye-sovety/grafikzashchit/>

Автореферат разослан «__» _____ 2022 г.

Ученый секретарь

диссертационного совет



Орлова Юлия Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. С тех пор как музыку стали записывать на бумаге в виде нотных знаков, стали появляться оригинальные «способы» ее сочинения. Одним из самых первых методов алгоритмической композиции стал способ сочинения музыки, придуманный Моцартом – «Музыкальная игра в кости». Первое компьютерное музыкальное произведение – «Illiac Suite for String Quartet» – было создано в 1956 году пионерами применения компьютеров в музыке – Лежарен Хиллер и Леонард Айзексон. В этом произведении использовано сразу несколько различных методов синтеза композиций, основанных на теории вероятностей, марковских цепях и генеративной грамматике.

Развитие компьютерной музыки, в том числе и генерации звуков по изображению, в прошлом веке было сильно ограничено вычислительными ресурсами – покупать и содержать мощные ЭВМ могли позволить себе лишь крупные университеты и лаборатории, а первым персональным компьютерам не хватало вычислительной мощности. Однако в XXI веке, изучением компьютерной музыки может заниматься практически каждый человек.

В настоящее время музыка, написанная компьютером, может применяться во многих отраслях: создание музыки для компьютерных игр, рекламы и фильмов, а также в образовательном процессе. Сейчас, для создания фоновых музыкальных композиций в компьютерных играх и рекламе, компании нанимают профессиональных композиторов или покупают права на уже написанные музыкальные произведения. Однако в данной области музыкальные композиции не являются основным продуктом, они нужны для придания фона. Значит, такие композиции можно создавать автоматически, что позволит компаниям снизить расходы на сочинение композиций.

Степень разработанности темы. Исследованием данного направления занимались многие известные учёные, например, Ньютон, предложивший в 1704 году свою схему соотнесения цветов и нот, основанной на соотнесении длины волны звука и цвета. Также были подходы, основанные на интуиции (Л. Кастель 1730 год), психологии, психофизике и физиологии. Одной из первых комплексных работ в данном направлении стала работа Дж. Кайвано в 1994 году, который, помимо прямого соотнесения цветов и нот, выделил схему соотнесения цветовых и музыкальных характеристик. Следующим развитием данного направления стала работа отечественного композитора и художника В. В. Афанасьева (2002 год), который предложил связать отношения звуков и цветов в зависимости от того, в какой плоскости они представлены: мелодия, гармония или тональность. Также, Х. Ву по данному направлению была защищена магистерская диссертация в Канаде в 2008 году. Позднее был целый ряд работ, направленных на автоматизацию создания музыкальных произведений с помощью методов машинного обучения. Например, в 2016 году была представлена работа Ф. Лиангом, которая описывает использование рекуррентных нейронных сетей для задачи генерации композиций, имитирующих стиль произведений Баха. В 2017 была представлена разработка команды из Google Brains под названием Magenta, которая также описывает возможность использования сетей с долгой краткосрочной памятью для задачи генерации музыкальных композиций. В 2020 году Ф. Роше была представлена диссертация, описывающая различные аспекты генерации композиций с использованием методов машинного обучения.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является повышение эффективности компьютерного синтеза музыки по цветовому изображению за счет разработки моделей, методов и средств автоматизированного создания мелодичных и гармоничных музыкальных композиций с помощью машинного обучения.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Проведен анализ современных подходов и методов автоматизированного синтеза звуковых последовательностей по цветовому изображению.

2. Предложены критерии оценки и сравнения компьютерных средств генерирования музыкальных композиций по цветовому изображению, алгоритмических методов построения звуковых последовательностей, методов воспроизведения звучания музыкальных инструментов.

3. Разработаны метод структурированного представления музыкальной композиции и модель соотнесения цветовых и музыкальных характеристик для получения параметров музыкальной композиции.

4. С использованием машинного обучения построена модельная база композиций с различными музыкальными жанрами для выбора жанра музыкальной композиции.

5. Разработан метод воспроизведения звуков музыкальных инструментов по структурированному представлению музыкальной композиции.

6. Разработан комплексный метод синтеза цельной музыкальной композиции по цветовому изображению с использованием нейронных сетей.

7. Разработанные модели, методы и алгоритмы реализованы в виде компьютерной системы, автоматизирующей процесс создания музыкальной композиции.

8. Проведены тестирование и экспертное оценивание мелодичности и гармоничности синтезированных музыкальных композиций.

Объектом исследования является процесс компьютерного синтеза музыкальных композиций.

Предметом исследования являются модели, методы и средства автоматизированного синтеза музыкальной композиции по цветовому изображению.

Гипотеза исследования состоит в том, что автоматизация сочинения музыкальных композиций по цветовому изображению, основанная на совместном использовании методов искусственного интеллекта и теории музыки, позволит повысить мелодичность и гармоничность музыкальных композиций.

Методы исследования, использованные в работе: системный и сравнительный анализ, интеллектуальный анализ данных, метод перехода от абстрактного к конкретному, метод формализации, экспертные оценки, экспериментирование.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в разработке оригинальных моделей, методов и средств компьютерного синтеза цельной музыкальной композиции по цветовому изображению, включающие:

- новый комплексный метод синтеза цельной музыкальной композиции по цветовому изображению, основанный на совместном использовании методов машинного обучения для создания мелодии и правила построения музыкальной композиции для получения гармонии произведения, включающий модель соотнесения цветовых и музыкальных характеристик, модель структуры музыкальной композиции, модель жанров музыкальных композиций;
- новый метод структурированного представления музыкальной композиции, основанный на сопоставлении различных цветовых (оттенки, цветовая группа, яркость, насыщенность) и музыкальных (нота, музыкальный лад, октава, длительность) характеристик, позволяющий определить характеристики результирующей композиции по изображению;
- новый метод воспроизведения звуков музыкальных инструментов по структурированному представлению музыкальной композиции, использующий собранную автором коллекцию образцов записанных отдельных нот и позволяющий синтезировать музыку с высокой степенью реалистичности.

Практическая ценность работы состоит в разработке программного обеспечения, которое может использоваться при создании музыки для компьютерных игр, рекламы и фильмов, а также в образовательном процессе.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Комплексный метод синтеза цельной музыкальной композиции по цветовому изображению с использованием нейронных сетей, включающий модель соотнесения цветовых и музыкальных характеристик музыкальной композиции, модель структуры музыкальной композиции, модель жанров музыкальных композиций.
2. Метод структурированного представления музыкальной композиции.
3. Метод воспроизведения звуков музыкальных инструментов по структурированному представлению музыкальной композиции.
4. Архитектура и программная реализация системы синтеза музыкальной композиции по цветовому изображению.

5. Результаты тестирования компьютерной системы и экспертного оценивания синтезированных музыкальных композиций.

Обоснованность и достоверность. Достоверность результатов работы обеспечивается использованием современных методов проведения научных исследований, корректным использованием математического аппарата, а также результатами применения разработанных моделей, методов и средств синтеза музыкальной композиции по цветовому изображению.

Апробация работы. Работа была представлена на следующих научных конференциях: international scientific Conference on Artificial Intelligence and Digital Technologies in Technical Systems II-2021 (AIDTTS II-2021), Волгоград, 2021; Fourth International Scientific Conference «Intelligent Information Technologies for Industry» (ITI'19), Острава, Чехия, 2019; Third International Scientific Conference «Intelligent Information Technologies for Industry» (ITI'18), Сочи, 2018; XXIII Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области, Волгоград, 2018; International Conference «Information Technology and Nanotechnology, Самара, 2018.

По разработанным программным решениям было получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017616834. Разработанное программное обеспечение прошло апробацию в МОО «Ассоциация клинических фармакологов», что подтверждено актом о внедрении результатов исследования.

Результаты диссертации были использованы при выполнении проектов Российского фонда фундаментальных исследований и администрации Волгоградской области № 18-07-00220, 19-07-00020, 19-47-343001, 19-47-340003, 19-47-340009, 19-47-340013, 19-47-343002, 19-37-90060, 20-07-00502.

Публикация результатов работы. По теме диссертации опубликовано 24 научные работы, в том числе 6 работ в зарубежных изданиях, индексируемых в базах научного цитирования Scopus и Web of Science, 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, а также 22 публикации, индексируемые РИНЦ.

Личный вклад соискателя. Все изложенные в диссертации результаты исследования получены либо соискателем лично, либо при его непосредственном участии. В публикациях с соавторами личный вклад соискателя состоит в постановке задач исследования, разработке теоретических и прикладных методов их решения, в обработке, анализе, обобщении полученных результатов и формулировке выводов. Программная реализация методов и алгоритмов выполнена лично автором.

Структура и содержание диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений. Основной текст работы изложен на 126 страницах машинописного текста, содержит 69 рисунков и 21 таблицу. Библиографический список включает 87 наименований. Общий объем работы составляет 141 страница.

СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель и задачи исследования, определены объект, предмет и гипотеза исследования, отражена научная новизна, описаны выносимые на защиту положения, изложены структура и краткое содержание работы.

Первая глава содержит анализ современных подходов и методов автоматизированного синтеза звуковых последовательностей по цветовому изображению.

Проведено сравнение компьютерных средств генерирования музыкальных композиций по цветовому изображению: Music in image, UPIC, MetaSynth, Iamascope, Magenta, BachBot, FlowMachines, DeepJaz. Для сравнения компьютерных средств использовались следующие критерии с вербальными шкалами:

- удобство использования программы (интерфейс) – 1/неудобно, 2/скорее неудобно, 3/нейтрально, 4/скорее удобно, 5/удобно;
- возможность загрузки готового изображения – 1/не работает с изображениями, 2/работает с изображениями очень слабо, 3/работает с собственными абстрактными фигурами; 4/позволяет нарисовать любое изображение с использованием вспомогательных средств; 5/работает с широким спектром изображений;
- цельность композиции – 1/нецельная, звучит как отдельные воспроизводимые звуки, 2/скорее не цельная, какие-то части звучат цельно, но большая часть звуков несвязанная,

3/средняя, какие-то части композиции звучат цельно, какие-то нет, 4/скорее цельная, есть отдельные выбивающиеся ноты, но в целом звучит связано, 5/цельная, вся композиция звучит как единое целое;

- мелодичность композиции – 1/не мелодичная, присутствует большое количество диссонирующих нот, 2/скорее не мелодичная, отдельные участки звучат мелодично, но большая часть композиции представляет полную смесь нот, 3/средне мелодичная, часть композиции звучит мелодично, часть нет, 4/скорее мелодичная, в целом композиция мелодична, но встречаются диссонирующие и не мелодичные ноты, 5/полностью мелодичная;

- учитывает музыкальные правила построения композиций – 1/совсем не учитывает, 2/скорее не учитывает, 3/более-менее учитывает, 4/скорее учитывает, 5/учитывает;

- анализирует изображение как целое – 1/не анализирует изображение, 2/анализирует каждый пиксель отдельно, 3/анализирует несколько рядом стоящих пикселей, 4/анализирует большой контекст пикселей, не обязательно стоящих рядом, 5/анализирует весь контекст изображения.

Результат сравнения аналогов по предложенным критериям представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение компьютерных средств генерирования музыкальных композиций по цветовому изображению

	Music in image	UPIC	MetaSynth	Iamasc ope	Magenta	Bach Bot	Flow Machines	Deep Jaz
Удобство использования программы	5	4	3	3	5	3	3	3
Возможность загрузки готового изображения	5	1	1	2	2	1	1	1
Цельность композиции	3	3	3	2	4	4	3	3
Мелодичность композиции	4	3	3	2	4	4	3	3
Учёт музыкальных правил построения композиций	3	3	2	2	5	4	3	4
Анализ изображения - как целого	3	5	5	5	1	1	1	1

Наиболее высокие оценки из рассмотренных компьютерных систем получила Music in image. Однако в этой системе не в достаточной мере учитываются теоретические правила создания музыкальных произведений, изображение анализируется не как целое, что приводит к потере мелодичности и цельности композиции.

Проведён сравнительный анализ алгоритмических методов построения звуковых последовательностей: марковские модели (ММ); порождающая грамматика (ПГ); сети Петри (СП); хаотические системы (ХС); системы Линденмайера (СЛ); генетические алгоритмы (ГА); клеточные автоматы (КА); искусственные нейронные сети (ИНС). Для сравнения алгоритмических методов использовались следующие критерии с вербальными шкалами:

- возможность моделирования многомерных последовательностей – 1/поддерживает только одномерные последовательности, 2/поддерживает многомерные последовательности только с совместным использованием дополнительных методов, 3/поддерживает многомерные последовательности только с существенной доработкой, 4/скорее поддерживает многомерные последовательности, 5/полностью поддерживает многомерные последовательности;

- простота обучения на готовых композициях – 1/обучение или построение правил производится в ручную, 2/поддерживает обучение на готовых композициях с совместным использованием других методов, 3/поддерживает обучение на готовых композициях с существенным преобразованием данных, 4/поддерживает обучение на готовых композициях с преобразованием данных, 5/поддерживает обучение на готовых композициях;

- возможность изменения условий – 1/можно менять только начальные условия, 5/можно менять условия в процессе;

- простота реализации – 1/реализовать крайне тяжело или невозможно, 2/сложно реализовать, 3/можно реализовать с достаточным количеством усилий, 4/относительно просто реализовать, 5/очень просто реализовать.

Таблица 2 – Сравнение алгоритмических методов построения звуковых последовательностей

	ММ	ПГ	СП	ХС	СЛ	ГА	КА	ИНС
Моделирование многомерных последовательностей	1	1	1	5	1	5	1	5
Простота обучения на композициях	3	2	2	3	2	3	2	4
Возможность изменения условий	5	5	5	1	5	5	5	5
Простота реализации	4	4	4	2	4	3	3	4

Сравнение показало, что для синтезирования музыкального материала наиболее подходит метод, основанный на искусственных нейронных сетях. Именно нейронные сети позволяют выявить наиболее сложные взаимосвязи, характерные музыкальным произведениям. Многие из современных программ для автоматизированной генерации музыкальных композиций используют нейронные сети, например, система Magenta от Google.

Существуют различные классификации нейронных сетей в зависимости от классификатора. По количеству слоёв выделяют однослойные и многослойные; по типу связи – прямого распространения и с обратными связями; по способу обучения – с учителем и без учителя. Важной особенностью нейронных сетей прямого распространения является то, что у данной нейросети есть общее ограничение: и входные и выходные данные имеют фиксированный, заранее обозначенный размер.

Для обработки условно бесконечной последовательности, в которой важно не только содержание, но и порядок следования данных, например, текст или музыка, необходимо использовать нейронные сети с обратными связями – рекуррентные нейронные сети (RNN), в которых реализуется «память» о предыдущих состояниях сети. Для реализации автоматизированного синтеза музыкальных композиций предлагается использовать рекуррентные нейронные сети с долгой краткосрочной памятью – RNN LSTM, в которых имеются специальные фильтры для защиты информации. Такие сети способны научиться создавать сложные структуры, например, сочинять тексты в стиле определённого автора или сочинять простую музыку.

Однако, хотя нейронные сети и используются для генерации музыкальных композиций, не существует подробного описания конкретного метода для синтеза композиций. Кроме того, все существующие подходы основаны на использовании одного определённого математического метода в отрыве от музыкальной теории. Известно, что существует ряд учебных и научных дисциплин, занимающихся теоретическими аспектами музыки – музыковедение. Данные дисциплины описывают множество аспектов грамотного построения музыкального произведения, однако не могут формализовать процесс творчества – сочинение партий. Поэтому было принято решение разработать собственный метод создания музыкальных композиций, основанного на совместном использовании методов искусственного интеллекта и музыкальной теории для увеличения качества результирующей музыкальной композиции.

Существующие подходы к синтезированию музыкальных композиций основаны на использовании одного определённого математического метода и не учитывают теоретические аспекты музыковедения. Поэтому была поставлена задача разработать новый метод создания цельных музыкальных композиций, основанный на совместном использовании методов искусственного интеллекта и музыкальной теории для получения мелодичного и гармоничного музыкального произведения. Для решения этой задачи был проведен сравнительный анализ методов, применяемых для синтеза звуков: аддитивный синтез (АС), FM-синтез (ФМС), сэмплинг – использование образцов (ИО), таблично-волновой синтез (ТВС), субтрактивный синтез (СС), векторный синтез (ВС), линейно-арифметический синтез (ЛАС), и формализованы следующие критерии сравнения с вербальными шкалами:

- простота реализации – 1/реализовать крайне тяжело или невозможно, 2/сложно реализовать, 3/можно реализовать с достаточным количеством усилий, 4/относительно просто реализовать, 5/очень просто реализовать;
- ограниченность – 1/очень ограничен в возможностях синтеза и модификации звуков, 2/скорее ограничен, 3/средне ограничен; 4/скорее гибок и позволяет в реальном времени менять параметры и звуки, 5/гибок позволяет в реальном времени менять параметры и звуки;

- реалистичность звучания – 1/инструменты звучат искусственно, 2/инструменты звучат скорее искусственно, 3/инструменты звучат более-менее реалистично, 4/инструменты звучат скорее реалистично, 5/инструменты звучат реалистично.

Таблица 3 – Сравнение методов синтеза звуков

	АС	ФМС	ИО	ТВС	СС	ВС	ЛАС
Простота реализации	2	3	5	3	2	3	3
Ограниченность	4	4	3	4	4	4	4
Реалистичность звучания	4	3	5	5	4	4	5

Каждый из рассмотренных методов обладает своими плюсами и минусами. Для синтеза музыкальных композиций был выбран метод использования образцов (сэмплинг). Данный метод даёт наиболее реалистичное звучание инструментов, относительно прост при реализации. Недостатком является выбор из ограниченного набора заранее известных инструментов. Однако для реализации системы этот недостаток не существен, так как пользователь может сам сформировать желательные набор инструментов из готовых пресетов.

Вторая глава описывает разработанный комплексный метод синтеза цельной музыкальной композиции по цветовому изображению с использованием нейронных сетей.

Комплексный метод синтеза цельной музыкальной композиции по цветовому изображению с использованием нейронных сетей состоит из трёх основных этапов (рисунок 1): анализ изображения, построение структурированного представления музыкальной композиции и синтез звуков.

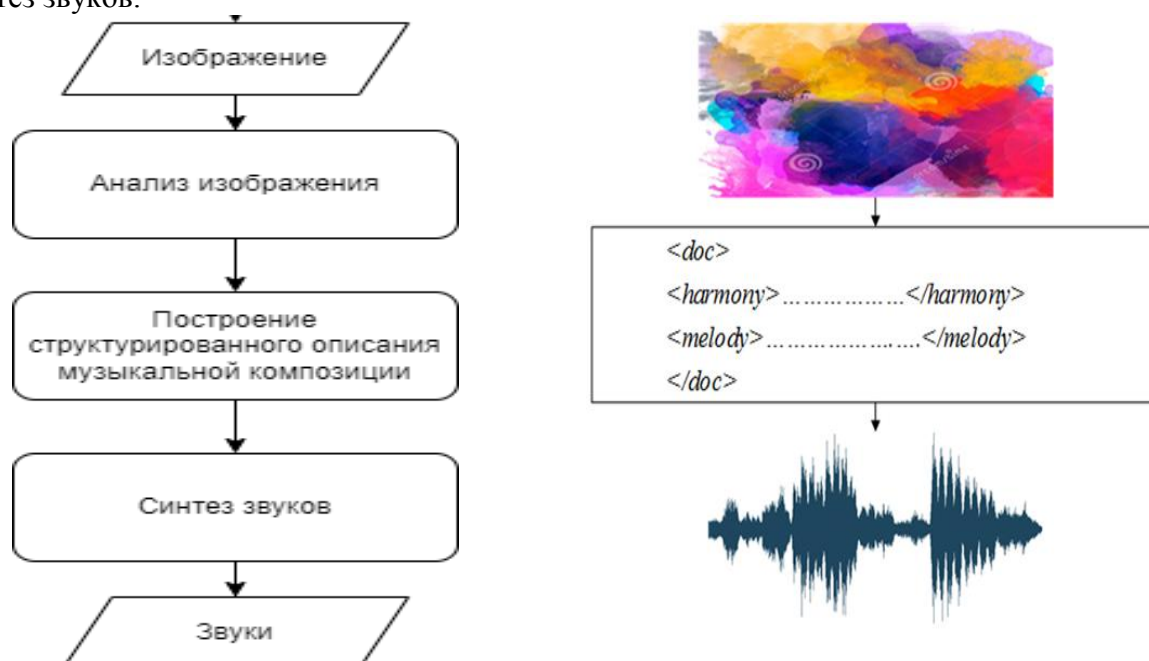


Рисунок 1 – Комплексный метод синтеза цельной музыкальной композиции по цветовому изображению с использованием нейронных сетей

Первым этапом комплексного метода является анализ изображения и определение характеристик произведения с изображения. На данном этапе анализируется каждый пиксель изображения и получается преимущественный цвет. Кроме того, на данном этапе происходит определение первых 20% отличающихся цветов с изображения, для дальнейшего построения мелодии.

Вторым этапом комплексного метода является построение композиции. Для этого была разработана **модель соотношения цветовых и музыкальных характеристик** (рисунок 2), а также разработан **метод структурированного представления музыкальной композиции** (рисунок 3 и рисунок 4).

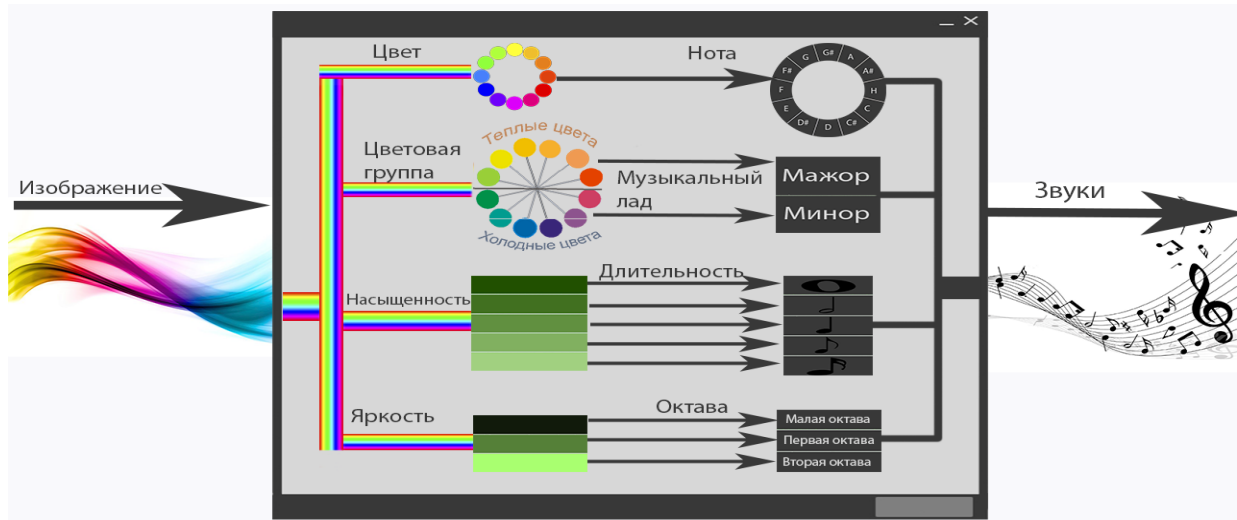


Рисунок 2 – Модель соотношения цветовых и музыкальных характеристик



Рисунок 3 - Метод структурированного представления музыкальной композиции



Рисунок 4 – Построение мелодической последовательности

Опишем модель соотношения цветовых и музыкальных характеристик в виде кортежа:

$$ITM = \langle I, CN, CGMD, SATDU, BROCT \rangle, \quad (1)$$

где I – входные данные в виде изображения; CN – соотношение цвета с наименованием ноты; $CGMD$ – соотношение цветовой группы цвета с музыкальным ладом; $SATDU$ – соотношение насыщенности цвета с длительностью ноты; $BROCT$ – соотношение яркости цвета с высотой (октавой) ноты.

Метод структурированного представления музыкальной композиции состоит из следующих шагов:

1) Определяется тональность будущего произведения согласно преимущественному цвету и одной из пяти схем соотнесения цветов и нот. Максимальное родство цветов определяется между двумя соседними хроматическими цветами, а степень тонального родства – между звуками, находящимися на расстоянии семи полутонов друг от друга и отражена в квинтовом круге тональностей. Таким образом, совмещая хроматический цветовой круг и квинтовый круг тональностей, получим необходимую последовательность для тональностей и модуляций.

2) Строим мелодическую последовательность. Для этого сопоставляется хроматическая гамма тоники с цветовым кругом для получения соответствия нот и цветов для мелодической части будущего произведения. Затем выбирается последовательность цветов, считанных с изображения на этапе анализа изображения, используя модель соотношения цветовых и

музыкальных характеристик, а также одну из схем соотнесения цветов и нот, строим последовательность нот – эта последовательность будет началом композиции. По полученной последовательности нот прогнозируем дальнейшее развитие композиции с использованием нейронной сети и обученной модели.

3) Строим гармоническую последовательность. В музыке существуют функциональные отношения (тоника – субдоминанта – доминанта), а в цветоведении ему соответствует принцип дополнительности цветов (красный – синий – желтый). То есть, главными цветами при принятом основном, например, красном, являются дополнительные – желтый и синий, главными трезвучиями в музыке – тоническое, субдоминантовое и доминантовое. Используя данное правило, получаем последовательность аккордов по полученной на первом шаге тональности.

При построении мелодической последовательности произведения используется нейронная сеть. Для этого было проведено **моделирование музыкальных композиций и жанров**.

Музыкальная информация достаточно обширна: важны как отношения между предыдущими состояниями композиции, так и между параллельными голосами (партиями). Кроме того, большой проблемой становится обучение сети на различных релевантных данных, чтобы, с одной стороны, иметь достаточную выборку для получения разнообразных композиций, а с другой стороны не переобучить сеть на всевозможных жанрах и направлениях, получив в таком случае на выходе микс из разных жанров, т.е. абсолютно нестройную композицию.

Для того, чтобы обойти эту проблему, в данной работе обучена нейронная сеть на композициях определённых жанров и получена обученная модель с музыкальными жанрами. Затем музыкальный материал синтезируется только используя модель с определёнными параметрами для генерации мелодии в определённом жанре – такой подход позволяет получить более подходящий выход сети (рисунок 4).

Для обучения нейронной сети был взят набор данных «The Lakh MIDI dataset». Для обучения нейронной сети подавался на вход вектор, который содержит следующие части: название ноты (MIDI обозначение текущей ноты, используется для представления высоты ноты); время начала включения ноты; время выключения ноты; сила (громкость) воспроизведения ноты (velocity). Таким образом, именно анализируя midi-файлы, мы можем наиболее точно получить описание музыкальной композиции, которое приближенно к человеческому описанию (музыкальная нотация).

Для определения правильного выхода, согласно входу, вектор преобразуется следующим образом: пусть имеется вектор нот {c, d, e, f, g, a, h}, тогда обучающий вектор {{c, d}, {d, e}, {e, f}, {f, g}, {g, a}, {a, h}}. Такой способ обучения нейронной сети используется, например, для прогнозирования временных рядов.

В результате сбора и классификации обучающих данных изначально получено около 50 тысяч уникальных композиций, которым соответствует 1213 уникальных жанра. Для предсказания композиций это слишком много, поэтому было произведено распределение композиций по простым 20 жанрам.

В данной работе было решено обучить нейронную сеть по трём основным музыкальным жанрам: классика, рок и блюз. Для этого были взяты ранее распределённые по жанрам наборы midi файлов в общем количестве равном 13269 файла. По ним была обучена нейронная сеть и получена **модель жанров музыкальных композиций**:

$$\text{GNRNN} = \langle I, \text{GNR}, \text{LSTM}, \text{DNS}, \text{ACT} \rangle, \quad (2)$$

где I – слой входной последовательности данных; GNR – слой, отвечающий за выбор нужных параметров для генерации мелодии в определённом жанре; LSTM – слой рекуррентной нейронной сети; DNS – dense слой, отвечающий за полное связывание каждого входного узла с выходным; ACT – слой (функция) активации.

Для описания музыкальной композиции была разработана **модель структуры музыкальной композиции** (таблица 4). Ключевыми тэгами верхнего уровня текста являются два больших блока – теги melody и harmony, которые содержат описание мелодии и гармонии композиции соответственно. Также есть тэги для описания характеристик композиции – tonality и tempo, которые указывают на тональность и темп произведения. Данную модель можно описать в виде кортежа:

$$MSC = \langle I, TN, TMP, HRM, MLD \rangle, \quad (3)$$

где *I* – входная последовательность данных в виде композиции, *TN* – тэг для описания тональности композиции (*tonality*); *TMP* – тэг для описания темпа композиции (*tempo*); *HRM* – комплексный тэг для описания гармонической части композиции (*harmony*); *MLD* – комплексный тэг для описания мелодической части композиции (*melody*).

В свою очередь компонент *HRM* состоит из набора компонент *CHRD*:

$$CHRD = \langle I, DUR, TP, NAME, MODE \rangle, \quad (4)$$

где *I* – входная последовательность данных; *DUR* – свойство тега, описывающее длительность аккорда (*duration*); *TP* – тэг для типа аккорда (*type*); *NAME* – тэг для описания наименования аккорда (*chord_name*); *MODE* – тэг для описания музыкального лада аккорда (*mode*).

Компонент *MLD* состоит из набора компонент *NOTE*, который можно представить в виде:

$$NOTE = \langle I, DUR, NAME, OCTVE \rangle, \quad (5)$$

где *I* – входная последовательность данных; *TP* – тэг для типа аккорда (*type*); *NAME* – тэг для описания наименования ноты (*note_name*); *OCTVE* – тэг для описания октавы ноты (*octave*).

Таблица 4. Пример структуры музыкальной композиции

<pre> <doc> <tonality>d_minor</tonality> <tempo value="60"></tempo> <harmony> <chord duration="4"> <type value="standard"/><chord_name value="d"/> <mode value="minor"/> </chord> </harmony> <melody> <note duration="2"><note_name value="silence"/> </note> <note duration="8"><note_name value="f"/> <octave value="4"/></note> </melody> </doc> </pre>	• <i>tonality</i> - тэг, обозначающий тональность композиции. • <i>harmony</i> - тэг содержащий описание гармонии. • <i>chord</i> - тэг, внутри которого находятся тэги <i>type</i>, <i>chord_name</i> и <i>mode</i>. • <i>type</i> – тэг, имеющий свойство <i>value</i>, обозначающее тип аккорда • <i>chord_name</i> – тэг, обозначающий, название ноты тональности • <i>mode</i> – тэг, обозначающий музыкальный лад аккорда (<i>major</i> или <i>minor</i>). <i>melody</i> – тэг, описывающий мелодию композиции
--	--

Последним этапом комплексного метода синтеза цельной музыкальной композиции по цветовому изображению с использованием нейронных сетей является непосредственный синтез звуков. Для этого был разработан **метод воспроизведения звуков музыкальных инструментов по структурированному представлению музыкальной композиции**, который схематично представлен на рисунке 5.

Метод состоит из пяти этапов – предобработка xml-текста, получение характеристик композиции из текста, синтез мелодии, синтез гармонии и объединение частей в одну композицию. В данном методе используется оригинальная собранная база данных сэмплов – музыкальных файлов в формате wav, каждый из которых содержит звук отдельной ноты в определённой октаве для определённого музыкального инструмента. Данная база данных содержит четыре музыкальных инструмента – акустическая гитара, электрогитара, электрогитара с эффектом перегруза и фортепьяно. Каждый инструмент содержит четыре октавы.

В третьей главе описывается алгоритмическое обеспечение синтеза музыкальной композиции по цветовому изображению.

Общий вид алгоритма анализа изображений представлен на рисунке 6а, на рисунке 6б представлен подэтап алгоритма, который позволяет получить список простых цветов (список насыщенностей, яркостей и оттенков цвета). Данные алгоритмы позволяют по загруженному пользователем изображению, получить массив цветов, каждым элементом которого является набор – название, насыщенность и яркость. Общая асимптотическая сложность алгоритмов – $O(n)$.

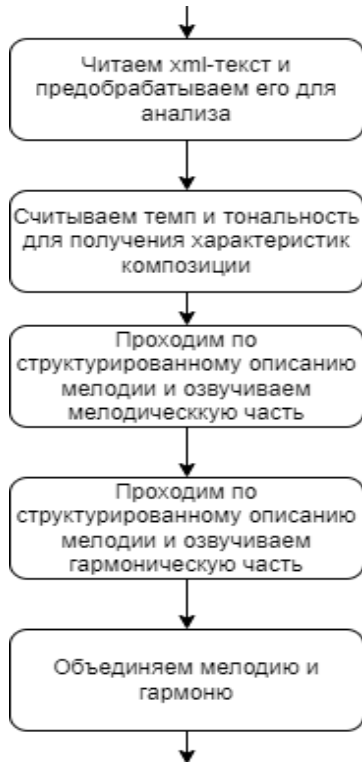


Рисунок 5 – Метод воспроизведения звуков по структурированному описанию музыкальной композиции

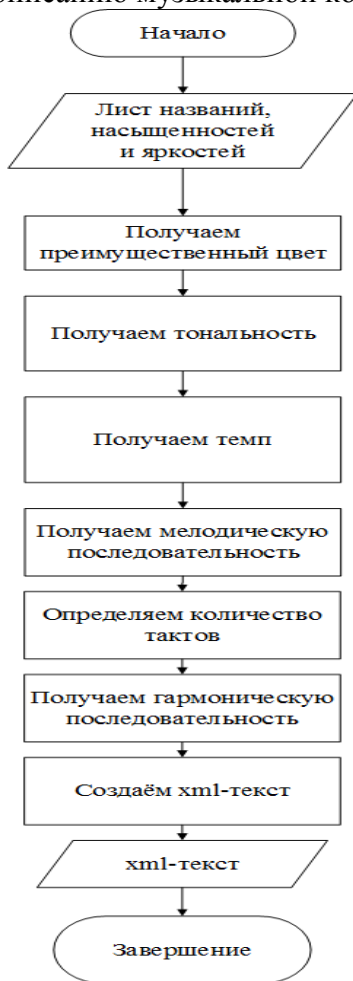


а)

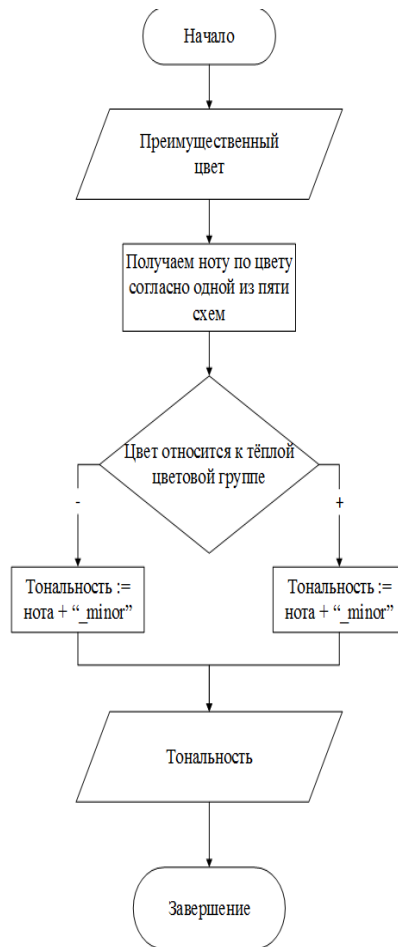


б)

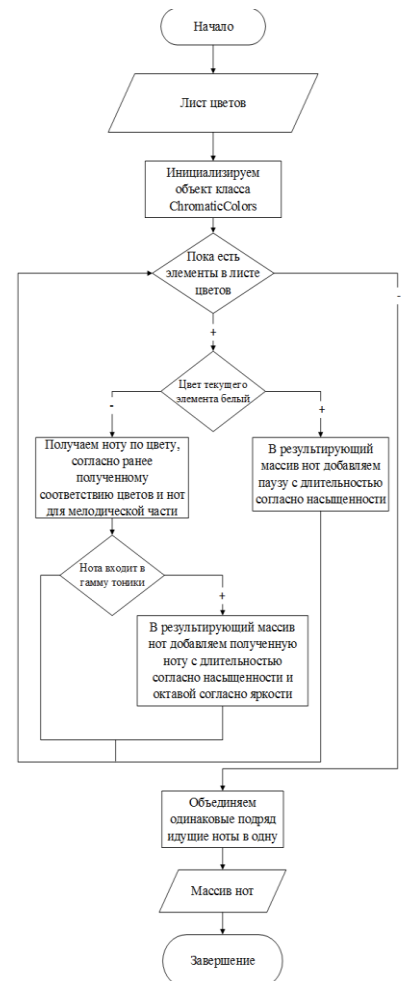
Рисунок 6 – Алгоритмы анализа изображений



а)



б)



в)

Рисунок 7 – Алгоритмы структурированного представления музыкальной композиции. Общий вид, определение тональности и мелодии

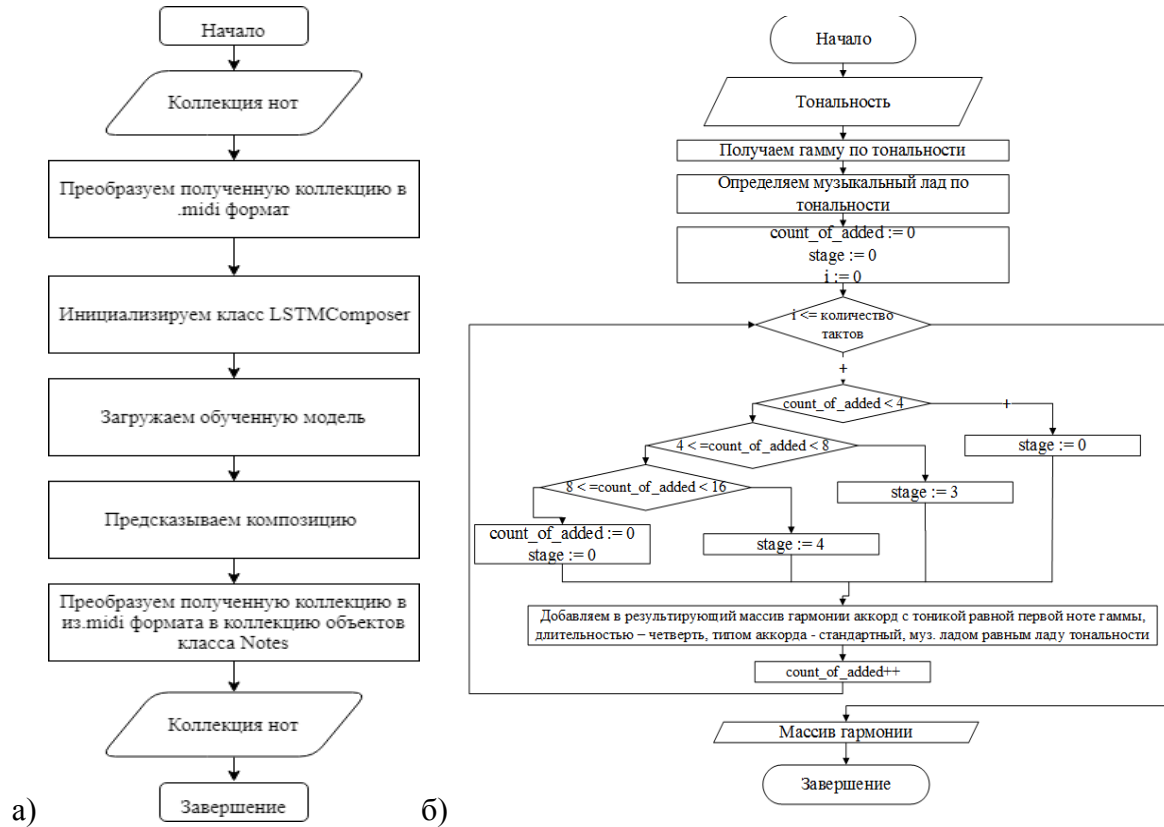


Рисунок 8 – Алгоритмы структурированного представления музыкальной композиции. Построение мелодической последовательности, построении гармонии.

После получения и преобразования названий, насыщенностей и яркостей каждого пикселя загруженного изображения, необходимо соотнести художественные характеристики с музыкальными. Выходом данного алгоритма является формализованное описание музыкальной композиции. Алгоритмы структурированного представления музыкальной композиции представлены на рисунках 7 и 8. Общий вид алгоритма представлен на рисунке 7а, алгоритм определения тональности представлен на рисунке 7б и алгоритм получения мелодической последовательности представлен на рисунке 7в. Общая асимптотическая сложность алгоритмов $O(n)$.

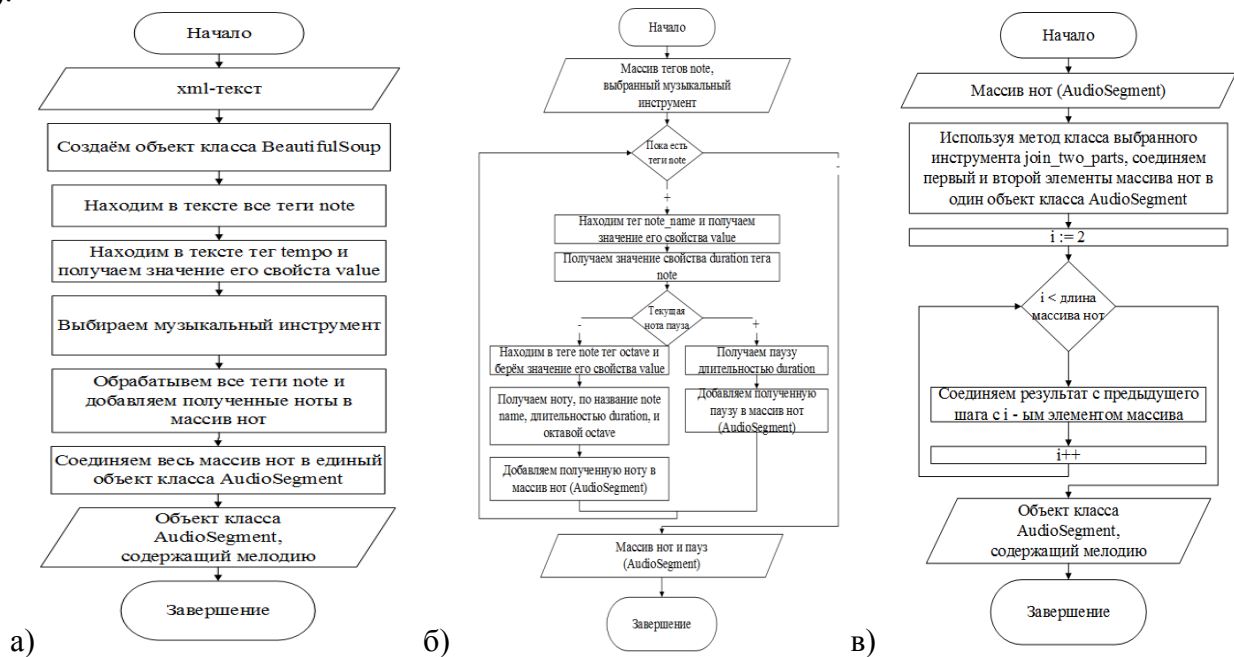


Рисунок 9 – Алгоритм синтеза звуков по структурированному описанию музыкальной композиции. Синтез мелодии

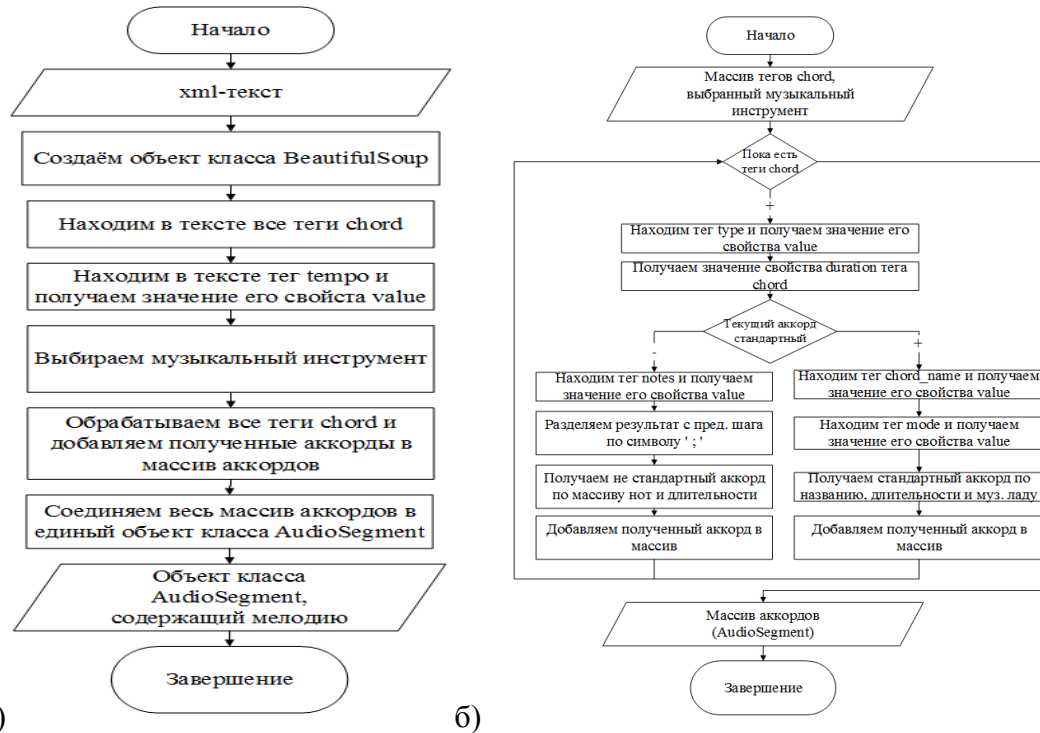


Рисунок 10 – Алгоритм синтеза звуков по структурированному описанию музыкальной композиции. Синтез гармонии

На рисунке 8а представлен алгоритм построения мелодической последовательности, на рисунке 8б представлен алгоритм построения гармонии произведения.

После формирования xml – текста, содержащего формализованное описание музыкальной композиции, необходимо провести синтез звука по сформированному тексту. Для этого были разработаны алгоритмы структурированного представления музыкальной композиции, которые состоят из двух частей: синтеза мелодии и синтеза гармонии. Общая асимптотическая сложность алгоритмов – $O(n)$.

Алгоритмы синтеза мелодии представлены на рисунках 9а, 9б и 9в. Алгоритмы синтеза гармонии представлены на рисунке 10а и 10б.

Для синтеза звуков используются четыре музыкальных инструмента: акустическая гитара, фортепиано, две вариации электрогитары с различным эффектом.

В четвёртой главе описывается реализация системы синтезирования музыкальной композиции по цветовому изображению.

Архитектура системы представлена на рисунке 11.

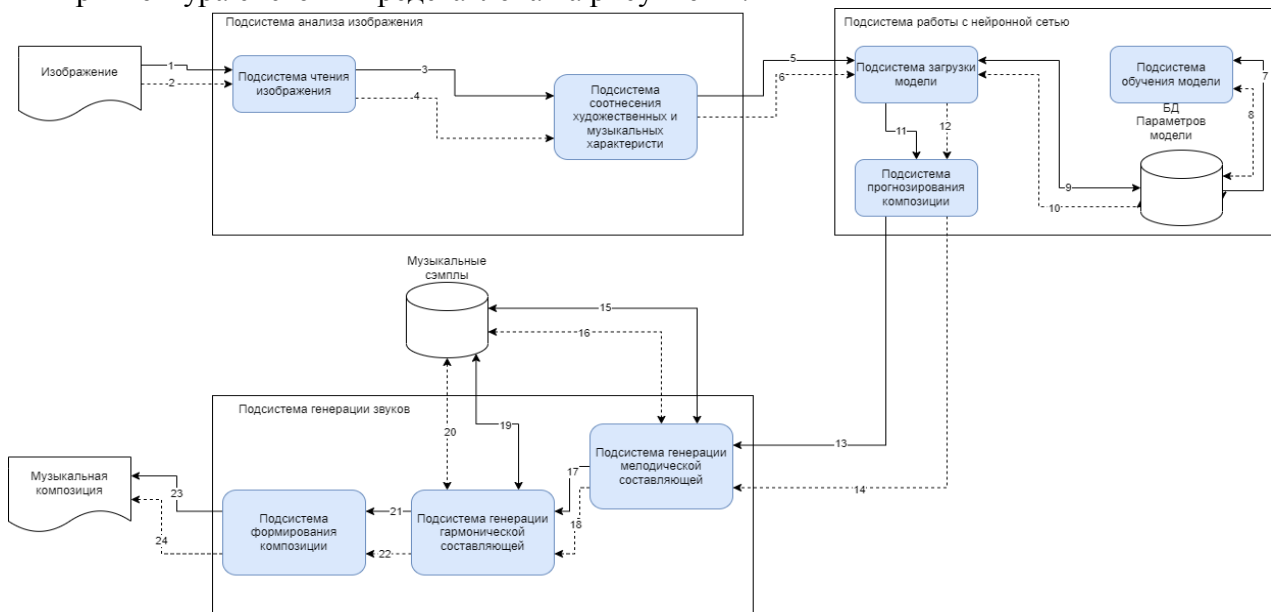


Рисунок 11 – Архитектура системы

В пятой главе описывается методика и результаты проведения вычислительных экспериментов по оцениванию музыкальных композиций и компьютерной системы.

Для проведения тестирования было составлено полное тестовое покрытие функций системы, включая обработку ошибок. В ходе проведения тестирования все тесты были успешно пройдены системой.

В ходе проведения тестирования по удобству использования разработанного программного решения было оценено корректное отображение сайта в различных операционных системах, на различных устройствах. Для тестирования были взяты наиболее распространённые браузеры – Google Chrome, Mozilla Firefox и Opera. В данных браузерах, как в настольной версии, так и в мобильных версиях все страницы сайта отображаются корректно и позволяют осуществить весь функционал системы.

Для оценки качества синтеза композиций были привлечены 10 экспертов: преподаватели музыкальных школ или музыканты с образованием. Были составлены наборы из изображений и сгенерированной композиции, которые были отправлены экспертам для анализа и оценки по критериям. Набор для первого эксперимента можно посмотреть по ссылке: <https://drive.google.com/drive/folders/1yyKUluPofC4X68JCwSEdbdu980Tcn2H7?usp=sharing>.

Были проведены два эксперимента:

- эксперимент по анализу качества синтезируемых звуков;
- эксперимент по анализу зависимости качества генерируемых звуков с использованием нейронных сетей от подхода, без использования нейронных сетей.

Во всех экспериментах использовались следующие критерии и вербальные шкалы:

- соответствие характеру изображения – 1/полностью не соответствует характеру изображения, 2/скорее не соответствует характеру изображения, 3/более-менее соответствует характеру изображения, 4/скорее соответствует характеру изображения, 5/полностью соответствует характеру изображения;
- реалистичность звучания инструментов – 1/все инструменты звучат искусственно, 2/инструменты скорее звучат искусственно, 3/часть инструментов скорее звучит искусственно, часть реалистично, 4/инструменты скорее звучат реалистично, 5/инструменты звучат реалистично;
- мелодичность композиции – 1/композиция звучит немелодично, ноты выбиваются, гармония не соответствует мелодии, 2/композиция звучит скорее немелодично, в основном ноты выбиваются, гармония не соответствует, 3/композиция звучит неплохо, мелодия построена хорошо, гармония скорее не соответствует мелодии, 4/в целом композиция звучит мелодично, однако некоторые ноты выбиваются из общей структуры или не попадают в такт, 5/композиция звучит так, как будто её написал композитор;
- качество гармонии – 1/гармония полностью не соответствует мелодии, 2/гармония скорее не соответствует мелодии, 3 /гармония частично соответствует мелодии, 4 /гармония скорее соответствует мелодии, 5/гармония полностью соответствует мелодии;
- благозвучность мелодии – 1/звучит не связано, просто набор отдельных нот, 2/звучит скорее не связано, некоторые сочетания нот подходят, но в основном просто набор отдельных нот, 3/звучит скорее более-менее связано, некоторые отрывки композиции подходят друг к другу, но много несвязанных участков, 4/звучит скорее благозвучно, прослеживает паттерн, некоторые ноты не попадают в такт или выбиваются из гаммы, 5/звучит полностью благозвучно, ноты сочетаются и попадают в гамму;
- цельность композиции – 1/композиция звучит абсолютно не цельно, 2/композиция звучит скорее не цельно, однако прослеживаются некоторые связанные части, 3/композиция звучит более-менее цельно, частично попадают связанные части, 4/композиция звучит скорее цельно, однако попадают несвязанные ноты, 5/композиция звучит полностью цельно;
- реалистичность композиции – 1/композиция звучит абсолютно нереалистично, 2/композиция звучит скорее не реалистично, 3/композиция звучит более-менее реалистично, 4/композиция звучит скорее реалистично, 5/композиция звучит полностью реалистично, как будто её написал композитор.

В первом эксперименте предполагается взять модель, обученную ранее на классических произведениях, по ней получить 10 музыкальных композиций и отправить эти композиции экспертам для анализа.

Для тестирования были высчитаны средние значения для каждого критерия по всем тестам, результаты такого расчёта представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Средние значения критериев по всем тестам для эксперимента №1.

Критерий	Среднее значение для всех тестов
Соответствие композиции характеру изображения	4.9
Реалистичность звучания инструмента	3.9
Мелодичность композиции	4.4
Качество гармонии	4.9
Благозвучность мелодии	4.5
Цельность композиции	4.4
Реалистичность композиции	4.3

Таким образом, получили все оценки выше 4, кроме реалистичности звучания инструмента, что связано с некоторой искусственностью звучания гитары.

Для исследования результатов эксперимента по анализу зависимости качества синтезируемых звуков с использованием нейронных сетей от подхода, без использования нейронных сетей, были посчитаны средние оценки для каждого критерия по всем тестам (табл. 6).

Таблица 6 – Средние оценки для каждого критерия по всем тестам для эксперимента №2

Критерий	Среднее значение для всех тестов
Соответствие композиции характеру изображения	0
Реалистичность звучания инструмента	0
Мелодичность композиции	0.8
Качество гармонии	1
Благозвучность мелодии	1
Цельность композиции	0.8
Реалистичность композиции	0.8

Таким образом, из таблицы видно, что критерии «Соответствие характеру изображения» и «Реалистичность звучания инструмента» не изменились, при изменении способа генерации звуков (с использованием искусственных нейронных сетей и без). Это связано с тем, что параметр «Соответствие характеру изображения» определяется выбранной тональностью, что не зависит от использования нейронных сетей. А параметр «Реалистичность звучания инструмента» зависит от модуля синтеза звуков, который тоже не был затронут при изменении подхода генерации композиций.

Наиболее важные параметры для оценки достижения цели исследования – «Мелодичность композиции», «Качество гармонии» и «Благозвучность композиции» были отмечены экспертами, как улучшившиеся. Это связано с тем, что без использования нейронных сетей был использован «наивный» подход к генерации композиций, в то время как нейронные сети, позволяют выявить такие связи, которые не видны человеку, что сказывается на качестве синтезируемых музыкальных композиций. Параметры «Цельность композиции» и «Реалистичность композиции» немного улучшились с использованием нейронных сетей.

В заключении приводятся основные научные и прикладные результаты, полученные в процессе выполнения диссертационной работы, и выделяются возможные направления дальнейших исследований.

В приложении приведены материалы справочного, иллюстративного характера.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Главными результатами диссертационной работы являются разработанные модели, методы и средства компьютерного синтезирования музыкальной композиции по цветовому изображению.

В ходе исследования были решены следующие задачи:

1. Проведен анализ современных подходов и методов автоматизированного синтеза звуковых последовательностей по цветовому изображению.
2. Предложены критерии оценки и сравнения компьютерных средств генерирования музыкальных композиций по цветовому изображению, алгоритмических методов построения звуковых последовательностей, методов воспроизведения звучания музыкальных инструментов.
3. Разработаны метод структурированного представления музыкальной композиции и модель соотнесения цветовых и музыкальных характеристик для получения параметров музыкальной композиции.
4. С использованием машинного обучения построена модельная база композиций с различными музыкальными жанрами для выбора жанра музыкальной композиции.
5. Разработан метод воспроизведения звуков музыкальных инструментов по структурированному представлению музыкальной композиции.
6. Разработан комплексный метод синтезирования цельной музыкальной композиции по цветовому изображению с использованием нейронных сетей.
7. Разработанные модели, методы и алгоритмы реализованы в виде компьютерной системы, автоматизирующей процесс создания музыкальной композиции.
8. Проведены тестирование и экспертное оценивание мелодичности и гармоничности синтезированных музыкальных композиций.

Таким образом, в ходе выполнения диссертационной работы были решены все поставленные задачи, цель исследования достигнута. В качестве одного из применений разработанная система была внедрена в общественную организацию «Ассоциация клинических фармакологов» и был получен набор музыкальных композиций для использования в игровых программах по реабилитации пожилых людей после инсульта.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Сейчас модуль работы с нейронной сетью просто генерирует целую композицию, при этом полученные ноты не всегда могут находиться в соответствии и могут получаться диссонирующие звуки. В связи с этим, одно из дальнейших разработанных моделей и методов может быть направлено на улучшение способа генерации музыкальной информации: генерировать некие шаблоны в зависимости от гаммы, а в композиции эти шаблоны повторять. Кроме того, нужно разделять композицию на смысловые части (например, куплет и припев) и генерировать гармоническую часть с использованием методов машинного обучения.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации, проиндексированные в Scopus и/или Web Of Science:

1. Никитин, Н.А. Program for sound generation based on image color spectrum with using the recurrent neural network [Электронный ресурс] / Н.А. Никитин, В.Л. Розалиев, Ю.А. Орлова // Proceedings of the IV International research conference «Information technologies in Science, Management, Social sphere and Medicine» (ITSMSM 2017) / ed. by O.G. Berestneva [et al.]. – [Published by Atlantis Press], 2017. – P. 227-232. – (Ser. Advances in Computer Science Research (ACSR) ; Vol. 72). – URL : <https://www.atlantis-press.com/proceedings/itsmssm-17>.
2. Automated Sound Generation by Image Color Spectrum with Harmony Creation Based on User Ratings [Электронный ресурс] / Н.А. Никитин, В.Л. Розалиев, Ю.А. Орлова, А.В. Заболеева-Зотова // Proceedings of the Second International Scientific Conference «Intelligent Information Technologies for Industry» (ITI'17). Vol. 1 / ed. by A. Abraham [et al.]. – [Springer International Publishing AG], 2018. – P. 520-525. – (Book ser. Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC) ; Vol. 679). – URL : https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-68321-8_54.

3. Automated sound generation based on image colour spectrum with using the recurrent neural network [Электронный ресурс] / Н.А. Никитин, В.Л. Розалиев, Ю.А. Орлова, А.В. Алексеев // CEUR Workshop Proceedings. Vol. 2212 : DS-ITNT 2018. Proceedings of the International Conference «Information Technology and Nanotechnology 2018». Session Data Science (Samara, Russia, 24-27 April, 2018) / ed. by Vladimir Fursov [et al.]. – [Publisher : CEUR-WS.org], 2018. – P. 399-408. – URL : <http://ceur-ws.org/Vol-2212/paper53.pdf>.

4. Results of Using Neural Networks to Automatically Creation Musical Compositions Based on Color Image / В.Л. Розалиев, Н.А. Никитин, Ю.А. Орлова, А.В. Заболеева-Зотова // Proceedings of the Third International Scientific Conference «Intelligent Information Technologies for Industry» (ITI'18) (Sochi, Russia, September 17–21, 2018) / ed. by A. Abraham [et al.] ; Rostov State Transport University (Russia), VŠB – Technical University of Ostrava (Czech Republic), Russian Association for Artificial Intelligence (RAAI). – Cham : Springer Nature Switzerland AG, 2019. – Vol. 2. – P. 148-160. – (Book ser. Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC) ; vol. 875).

5. Automation of Musical Compositions Synthesis Process Based on Neural Networks / Н.А. Никитин, В.Л. Розалиев, Ю.А. Орлова, А.В. Заболеева-Зотова // Proceedings of the Fourth International Scientific Conference «Intelligent Information Technologies for Industry» (ITI'19) (Ostrava–Prague (Czech Republic), December 2-7, 2019) / ed. by S. Kovalev [et al.] ; Rostov State Transport University, VŠB – Technical University of Ostrava (Czech Republic), Russian Association for Artificial Intelligence (RAAI) . – Cham (Switzerland) : Springer Nature Switzerland AG, 2020. – P. 51-59. – URL : <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-50097-9>. – (Book Ser.: Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC) ; vol. 1156).

6. Proposal of method for generating musical compositions of different genres / Н.А. Никитин, Ю.А. Орлова, В.Л. Розалиев, А.Г.С. Кузнецова, В.В. Гилка // Journal of Physics: Conference Series. Vol. 2060 : International Scientific Conference on Artificial Intelligence and Digital Technologies in Technical Systems II-2021 (AIDTTS II-2021) (Volgograd, Russia, 6-7 May 2021) / ed. by K. E. Tokarev. – IOP Publishing, 2021. – 6 p. – DOI: 10.1088/1742-6596/2060/1/012023. – URL: <https://iopscience.iop.org/issue/1742-6596/2060/1>.

Публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК

7. Автоматическая генерация звуков по цветовой гамме изображений / Н.А. Никитин, В.Л. Розалиев, Ю.А. Орлова, А.В. Заболеева-Зотова // Известия ВолгГТУ. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. - Волгоград, 2016. - № 3 (182). - С. 58-61.

8. Применение методов машинного обучения для задачи генерации музыкальных композиций / Н.А. Никитин, В.Л. Розалиев, Ю.А. Орлова, А.В. Заболеева-Зотова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. - 2018. - № 2 (42). - С. 84-95.

9. Генерация жанровых музыкальных композиций по эмоциональному состоянию человека/ Н.А. Никитин, Ю.А. Орлова, В.Л. Розалиев// Моделирование, оптимизация и информационные технологии. - 2022. - 14 стр.- №10(2). - DOI: 10.26102/2310-6018/2022.37.2.026. - URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1175>.

Публикации в журналах и сборниках трудов конференций:

10. Никитин, Н.А. Программа генерации звуков по цветовой гамме изображений / Н.А. Никитин // Смотр-конкурс научных, конструкторских и технологических работ студентов Волгоградского государственного технического университета (г. Волгоград, 10-13 мая 2016 г.) : тез. докл. / редкол.: А.В. Навроцкий (отв. ред.) [и др.] ; ВолгГТУ, Совет СНТО. - Волгоград, 2016. - С. 152-153.

11. Генерация звуков по цветовой гамме изображения / Н.А. Никитин, В.Л. Розалиев, Ю.А. Орлова, А.В. Заболеева-Зотова // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2016) : матер. VI междунар. науч.-техн. конф. (г. Минск, 18-20 февр. 2016 г.) / редкол.: В.В. Голенков (отв. ред.) [и др.] ; УО «Белорусский гос. ун-т информатики и радиоэлектроники», ГУ «Администрация Парка высоких технологий». – Минск, 2016. – С. 561-564.

12. Автоматическая генерация звуков по цветовой гамме изображений / А.В. Заболеева-Зотова, Н.А. Никитин, Ю.А. Орлова, В.Л. Розалиев // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016 (г. Смоленск, 3-7 октября 2016 г.): тр. конф. В 3 т. Т 2. / Российская ассоциация искусственного интеллекта, Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН. - Смоленск, 2016. - С. 174-182.

13. Никитин, Н.А. Программная генерация звуков по цветовой гамме изображений с использованием рекуррентной нейронной сети / Н.А. Никитин, В.Л. Розалиев, Ю.А. Орлова // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине : сб. науч. тр. IV междунар. конф. (5-8 декабря 2017 г.) / под ред. О.Г. Берестневой, А.А. Мицеля, Т.А. Гладковой ; ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический ун-т», ФГБОУ ВО «Томский гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники». - Томск, 2017. - С. 22-26.

14. Никитин, Н.А. Программная генерация звуков с использованием рекуррентной нейронной сети / Н.А. Никитин, В.Л. Розалиев, Ю.А. Орлова // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии (ИНФО–2017) : сб. тр. XIV междунар. науч.-практ. конф. (г. Сочи, 1-10 октября 2017 г.) / под ред. С.У. Увайсова ; Московский технологический ун-т (МИРЭА), Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского, РФФИ (Проект № 17-07-20539). - Москва, 2017. - С. 427-432.

15. Musical instrument recognition in polyphonic audio signals by using a source-filter model / В.Л. Розалиев, Дык Хань Нгуен, Н.А. Никитин, Ю.А. Орлова // Interactive systems: problems of human-computer interaction (Интерактивные системы: проблемы человеко-компьютерного взаимодействия) : collection of scientific papers of the 12th international conference (Ulyanovsk, Russia, 25-27 September, 2017) : (сб. науч. тр.) / ed. by P. Sosnin ; Ulyanovsk State Technical University [et al.]. - Ulyanovsk, 2017. - С. 97-104.

16. Никитин, Н.А. Automated sound generation by image color spectrum based on user ratings / Н.А. Никитин, В.Л. Розалиев, Ю.А. Орлова // Information Innovative Technologies (I2T) : materials of the International Scientific-Practical Conference (Prague, Czech Republic, April 24-28, 2017) / ed. by S.U. Uvaysov, I.A. Ivanov ; Moscow Technological Univ. (MIREA), Russian Centre of Science and Culture in Prague, Association of graduates and employees of AFEA named after prof. Zhukovsky [et al.]. - Moscow, 2017. - С. 462-465.

17. Никитин, Н.А. Разработка метода автоматической генерации звуков по изображению / Н.А. Никитин, В.Л. Розалиев, Ю.А. Орлова // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM – 2018) : тр. XVIII междунар. молодежной конф. (г. Москва, 16-18 октября 2018 г.) / под ред. А. В. Толока ; Ин-т проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук. - Москва, 2018. - С. 108-112.

18. Sound generation based on image color spectrum with using the recurrent neural network [Электронный ресурс] / Н.А. Никитин, В.Л. Розалиев, Ю.А. Орлова, А.В. Алексеев // Сборник трудов ИТНТ-2018 : IV международная конференция и молодежная школа «Информационные технологии и нанотехнологии» (г. Самара, 24-27 апреля 2018 г.) : к 25-летию ИСОИ РАН / Правительство Самарской обл., Самарский национальный исследовательский ун-т им. акад. С. П. Королева, Ин-т систем обработки изображений РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, РФФИ, ООО «Специальные системы. Фотоника». - Самара, 2018. - С. 2747-2755. – Режим доступа : https://elibrary.ru/download/elibrary_34894667_94330727.pdf.

19. Никитин, Н.А. Разработка программы автоматической генерации музыкальных композиций по изображению / Н.А. Никитин // XXIII Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области (г. Волгоград, 11-14 декабря 2018 г.) : тез. докл. / редкол.: А. В. Навроцкий (отв. ред.) [и др.] ; Комитет образования, науки и молодежной политики Волгоградской обл., Совет ректоров вузов Волгоградской обл., Волгоградский гос. техн. ун-т. - Волгоград, 2019. - С. 157-159.

20. Никитин, Н.А. Автоматизированный синтез музыкальных композиций на основе рекуррентных нейронных сетей / Н.А. Никитин, В.Л. Розалиев, Ю.А. Орлова // Искусственный интеллект в решении актуальных социальных и экономических проблем XXI века : сб. ст. по материалам Четвёртой всерос. науч.-практ. конф., проводимой в рамках Пермского

естественнонаучного форума «Математика и глобальные вызовы XXI века» (г. Пермь, 21-24 мая 2019 г.). Ч. II / отв. ред.: Л. Н. Ясницкий ; Пермский гос. национальный исследовательский ун-т [и др.]. - Пермь, 2019. - С. 80-85.

21. Никитин, Н.А. Разработка веб-сервиса для генерации музыкальной последовательности по изображению / Н.А. Никитин, В.Л. Розалиев, Ю.А. Орлова // Молодой учёный. - 2019. - № 51 (289), ч. 1. - С. 27-30.

22. Никитин, Н.А. Разработка методов для синтеза музыкальных композиций на основе интуитивного и эмоционального подходов / Н.А. Никитин, В.Л. Розалиев, Ю.А. Орлова // Программная инженерия: современные тенденции развития и применения (ПИ-2020) : сб. материалов IV всерос. науч.-практ. конф., посвящённой 30-летию создания кафедры программной инженерии (12-13 марта 2020 г.) / отв. ред.: Р. А. Томакова ; ФГБОУ ВО «Юго-Западный гос. ун-т». - Курск, 2020. - С. 54-61.

23. Никитин, Н.А. Development of web service for generating musical composition from an image / Н.А. Никитин, В.Л. Розалиев, Ю.А. Орлова // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS) = Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем : сб. науч. тр. / редкол.: В. В. Голенков (гл. ред.) [и др.] ; УО «Белорусский гос. ун-т информатики и радиоэлектроники». – Минск (Беларусь), 2020. – Вып. 4. – С. 345-348.

24. Никитин, Н.А. Обзор математических методов для генерации музыкальных композиций / Н.А. Никитин, В.Л. Розалиев, Ю.А. Орлова // Молодой учёный. - 2020. - № 52 (342), ч. 1. - С. 36-39.

Свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ:

Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017616834 от 15 июня 2017 г. Российская Федерация Программа генерации звуков по цветовой гамме изображений / Н.А. Никитин, В.Л. Розалиев, Ю.А. Орлова; ВолгГТУ. - 2017.

Автор выражает благодарность Розалиеву Владимиру Леонидовичу, кандидату технических наук, доценту кафедры «ПОАС» ВолгГТУ, за оказанную помощь и консультации в ходе выполнения диссертационной работы.

Подписано в печать __.____.2022 г. Заказ No _____. Тираж 100 экз. Усл. печ. л. 1,0

Формат 60 x 84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Типография ИУНЛ Волгоградского государственного технического университета. 400005, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28, корп. № 7