

## Разработка метода построения автоматизированного аккомпанемента на базе основной мелодии

*Е.Ю. Тараканова<sup>1</sup>, С.В. Степанов<sup>2</sup>, А.С. Зубанков<sup>2</sup>, Д.А. Барышев<sup>2</sup>,*

*А.В. Зубков<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>ООО «Абак-2000»*

*<sup>2</sup>Волгоградский Государственный Технический университет*

**Аннотация:** Вопрос построения автоматизированного аккомпанемента является все еще не раскрытой частью в рамках текущей автоматизации музыкальной сферы. Построение аккомпанемента используется не только в музыкальной сфере, но и в смежных с ней. Автоматически сгенерированный аккомпанемент используется в аудио- и видеостудиях для рекламы, людьми как с музыкальным образованием, так и без него. В данной работе будут рассмотрены существующие методы построения автоматизированного аккомпанемента, форматы аудиофайлов, а также описан разработанный алгоритм и метод автоматической генерации аккомпанемента.

**Ключевые слова:** аккомпанемент, автосгенерированный аккомпанемент, автоматический аккомпанемент, мелодия, MIDI.

Автоматизация и алгоритмизация музыкальной сферы на сегодняшний день имеет разные направления: вокал, создание музыки, использование автоматизированных систем в обучении и другие [1-3]. Возможность построения автоматического аккомпанемента встречается в качестве встроенной функции в системах, предназначенных для создания музыки или ее автоматической генерации [4]. Примерами систем с возможностью построения автоматического аккомпанемента являются сервисы для создания музыки AWS DeepComposer от Amazon, GarageBand от Google и др. Однако существующий автоматически сгенерированный аккомпанемент строится с использованием паттернов музыкальной грамоты, что ведет к некому однообразию его звучания. Автоматическая генерация аккомпанемента напрямую связана с музыкальной грамотой - сольфеджио. Определим некоторые понятия для данного исследования.

Нота – графическое изображение музыкального звука.

Мелодия – последовательность звуков, выраженных в виде нот [5].

Аккомпанемент – сопровождение мелодии теми же или другими инструментами.

Для построения автоматического аккомпанеента используются следующие методы:

- 1) Аккордовый;
- 2) Ритмический;
- 3) Жанровый.

Эти подходы являются базовыми и часто применяются совокупно для создания более плотного и насыщенного аккомпанеента.

Важно понимать, что построение автоматического аккомпанеента отличается от построения аккомпанеента вручную, так как человек может нарушать правила гармонизации без каких-либо закономерностей. При написании музыки, как и при построении аккомпанеента используется два правила: во-первых, любое музыкальное произведение подчиняется определенным закономерностям, во-вторых, эти закономерности могут нарушаться [6].

**Аккордовый.** Аккордовый подход является основой для построения аккомпанеента в целом, определив аккорды, сопровождающие мелодию, далее можно создать более сложный и наполненный аккомпанемент, путем их разложения, арпеджио и другими способами. Применение аккордового подхода также разнообразно, но общая суть заключается в определении тональности произведения и построения аккордов в рамках тональности. Для определения, какие аккорды необходимо использовать, активно применяются аккордовые цепочки, закрепленные в музыкальной грамоте. Пример аккордовой цепочки:  $S^3_5 - D^4_6 - T_6 - S_6 - D^3_5 - T^4_6 - S^4_6 - D_6 - T^3_5$  [3].

**Ритмический.** Ритмический подход соответствует своему названию и составляет ритм-аккомпанемент. В отличие от аккордового подхода, аккомпанемент строится не на аккордах в тональности, а на ритмическом

---

рисунке произведения. Если провести аналогию в жизнь, аккордовый аккомпанемент будет звучать на фортепиано или гитаре, а ритмический на барабанах. Ритмический подход к построению автоматического аккомпанемента также, как и аккордовый, строится на паттернах. Для построения ритмического аккомпанемента необходимо знать длину нот для составления ритмического рисунка.

**Жанровый.** Жанровый подход для автоматической генерации аккомпанемента, как правило, объединяет в себе аккордовый и ритмические подходы, поэтому воспринимается на слух более наполненным и гармоничным. Жанровый подход основан на типизации паттернов в зависимости от жанра произведения, или желаемого жанра, под который стилизуется аккомпанемент. Само понятие музыкального жанра указывает на нарушение некоторых классических правил построения аккомпанемента. Стоит заметить, что при накладывании своих правил на классические паттерны построения аккомпанемента, жанровый подход не нарушает музыкальную грамоту, так как изменения музыкального строя в зависимости, например, от правил построения джаза, стандартизированы и являются общепризнанными.

Разработанный в данной статье метод, лежащий в основе алгоритма автоматического построения аккомпанемента, основан на родственных тональностях. Рассмотрим тональность ля минор. На рис.1 изображен квинтовый круг с выделенными родственными тональностями для ля минор - Am.

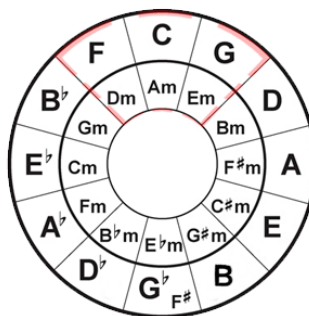


Рис. 1 - Родственные тональности ля минор

Выбор родственной тональности для построения аккорда происходит по одной из выведенных последовательностей гармонизации. Последовательность гармонизации - это последовательность ступеней, в зависимости от которых определяется аккомпанемент. Для ля минор номер ступени от 0 до 6 будет соответствовать следующим нотам, изображенным на рис.2.

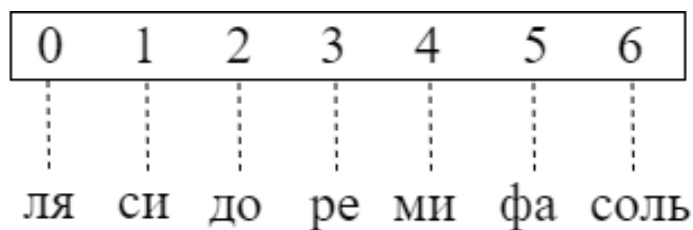


Рис. 2 - Ступени тональности ля минор

Мелодия разбивается на такты – равные промежутки, исчисляемые в четвертичных нотах. Далее, ноты в тактах проходят по выведенной последовательности гармонизации. На рис.3 представлена выведенная последовательность гармонизации с соответствующими родственными тональностями для ля минор.

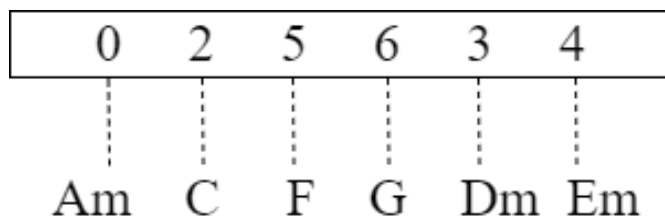


Рис. 3 - Последовательность гармонизации

Рассмотрим разработанный метод построения автоматизированного построения аккомпанемента на простом примере на рис.4. На нем представлено 4 такта мелодии, цифры являются нотами, которые представлены в виде ступеней тональности ля минор. При попадании на ступень из выведенной последовательности:

- 1) Для нечетного такта определяется родственная тональность, в зависимости от номера ступени в последовательности гармонизации.

Например, в первом такте, который является нечетным, есть первая ступень из последовательности гармонизации – 0. Нулевая ступень в ля минор на рис.2 является «ля» - латинское название «а», в ряду родственных тональностей ля минор, опираясь на квинтовый круг на рис.1 является тональность Am, то есть сама ля минор. Допустим, если бы в начале у нас стояла не 0-я ступень, а 2-я, то в ля миноре это «до» - латинское название «с». Среди родственных тональностей ля минор есть тональность C, то есть до мажор. Более наглядно это можно увидеть на рис. 3.

2) Тоника, то есть одноименная нота в названии тональности является аккомпанементом для первого такта.

3) Для четного такта от ноты, записанной в предыдущем нечетном такте, достраивается и записывается интервал. Как показано на рис.4, от 0 ступени достроен интервал из ступеней 2 и 4.

	1	2	3	4
Мелодия	0 3 4 6	2 3 4 6	6 3 4 5	2 5 4 5
Аккомпанемент	0	2 4	2	4 6

Рис. 4 – Пример построения автоматического аккомпанеента по разработанному методу

Для того, чтобы использовать метод необходимо знать структуру и основные характеристики музыкального произведения, получить эти данные возможно проанализировав входную мелодии. Для удобства анализа входным форматом был выбран формат MIDI.

Формат MIDI не является звукозаписью, а содержит в себе информацию о характеристиках произведения, о нотах и их длительности в отличии от цифровых форматов аудио mp3, ass, wav, flac и др. и форматов трекерной музыки it, mod, xm, s3m. Последние хоть и содержат в себе информацию о нотах и их длительности, но так же имеют информацию о

сэмплах, то есть инструментальный или синтезированный звук, в рамках которого сыграна эта нота. Форматы трекерной музыки в основном используются в электронной музыке и не несут в себе достаточной информации для анализа мелодии [7, 8].

Music Instrument Digital Interface или MIDI является не только форматом но и стандартом цифровой звукозаписи между электронными музыкальными инструментами, ввиду обширности его предназначения в данной работе его архитектуру можно свести к следующему виду на рис.5 [9]:

- в каждом MIDI -файле есть неограниченное количество треков;
- треки состоят из MIDI – сообщений;
- сообщения делятся на meta-сообщения и сообщения, содержащие саму мелодию.

tr1	msg1	msg2	msg3	msg4
tr2	msg1	msg2	msg3	msg4
tr2	msg1	msg2	msg3	msg4

Рис. 5 – Архитектура MIDI файла

Входными данными разработанного алгоритма является MIDI-файл с одним треком, в котором находится мелодия, а также размер произведения, выражающийся в двух цифрах numerator и denominator.

Помимо построения самого аккомпанемента, разработанный алгоритм содержит в себе шаги, необходимые для обработки MIDI-файла, который подается на входе. Для построения аккомпанемента определяются такие важные характеристики, как тональность и длительность четвертичной ноты -brn. После определения характеристик происходит построение аккомпанемента по методу, описанному выше, полученный аккомпанемент записывается в трек. Для полноты звучания создается второй трек с

аккомпанементом. Разработанный алгоритм автоматического построения аккомпанеента на базе основной мелодии представлен на рис.6.

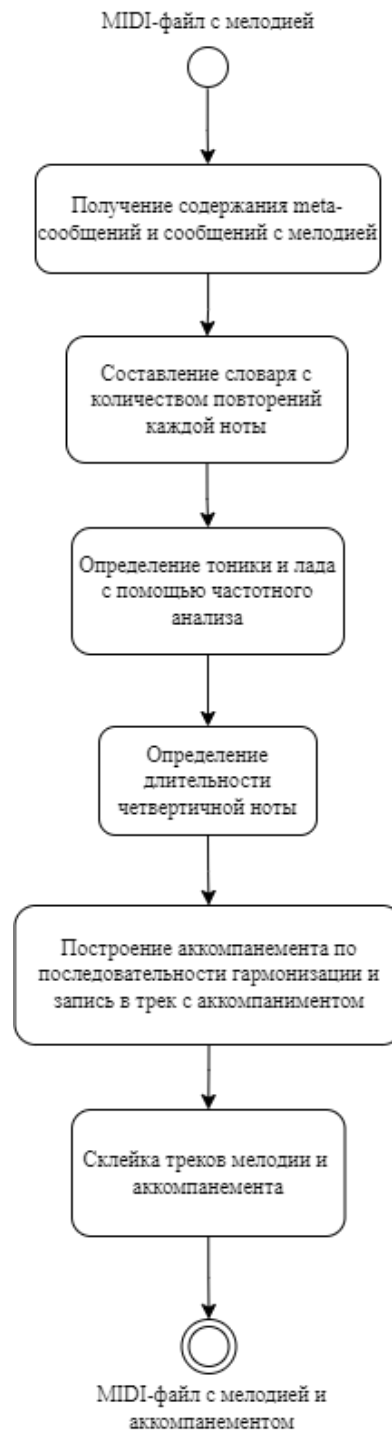


Рис. 6 - Разработанный алгоритм автоматического построения аккомпанеента

На рис.7 изображен ввод входных данных пользователем - путь к midi-файлу и размер произведения:

```
Please, input path for midi file:.\test2.mid
Please, input midi numerator:4
Please, input midi denominator:4
```

Рис 7. – Ввод пользователем входных данных

Входные данные имеют ограничения, путь к файлу и его имя должны быть корректно указаны, а midi-файл должен содержать в себе один трек с записанной в нем мелодией, выраженной в виде последовательности нот. Пустой трек или трек, последовательность в котором имеет несколько нот в один и тот же промежуток времени, не соответствует необходимой структуре и вызовет ошибку. Пара numerator и denominator также имеет ограничения, согласно принятым размерам произведения [2;2], [2;4], [3;4], [5;4], [4;4], [7;4], [3;8] [5;8], [6;8], [7;8]. Ввод иных пар чисел приведет к ошибке.

При корректности исходных данных начинается анализ сообщений, из которых состоит midi-файл. С помощью функции из библиотеки Python Mido из meta-сообщений получаем темп произведения [10]. Далее, анализируются сообщения, содержащие информацию о нотах и их длительностях, составляется словарь с количеством повторений каждой ноты на рис.8.

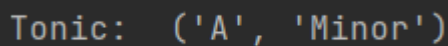
Notes	Counts:
C	7
C#/Db	0
D	5
D#/Eb	0
E	6
F	3
F#/Gb	0
G	2
G#/Ab	0
A	8
A#/Bb	0
B	8

Рис. 8 – Словарь с количеством повторений каждой ноты

---



Дальнейшие шаги предназначены для определения характеристик, необходимых для построения аккомпанемента – тональности и длительности четвертичной ноты. Для чего нужна тональность, описано выше в методе, из него также можно понять, что длительность четвертичной ноты нужна для разбивки мелодии на такты, для этого пользователем был введен размер произведения. Тональность определяется с помощью частотного анализа. Принцип частотного анализа заключается в определении наибольшего количества повторений. Тональность определяется двумя параметрами: тоника и лад. С помощью частотного анализа определяются возможные минорная и мажорная тоники путем определения ноты, от которой чаще всего происходит построение определенных интервалов, различных для мажора и минора. Частотный анализ также используется для получения лада, имея возможные тоники, функция определяет более частное построение интервала в мелодии от полученных минорной и мажорной тоник. Определенная тональность представлена на рис.9.



```
Tonic: ('A', 'Minor')
```

Рис. 9. – Определенная тональность мелодии

Длительность четвертичной ноты определяется с помощью функции из библиотеки Mido и исчисляется в миллисекундах. Получив тональность и длительность четвертичной ноты, выстраиваем аккомпанемент по примеру рис.4. В выходном файле происходит запись в треки. Первый трек содержит в себе мелодию из исходного файла, во второй трек пишется автоматически сгенерированный аккомпанемент, в третий трек аккомпанемент из второго со сдвигом на полтакта по времени и высотой звучания, отличающейся на интервал в три ступени вверх.

В результате выполнения программы мы получаем из исходного MIDI-файла с одним треком MIDI-файл с тремя треками. Исходный midi-файл, открытый в online-секвенсоре, представлен на рис.7.

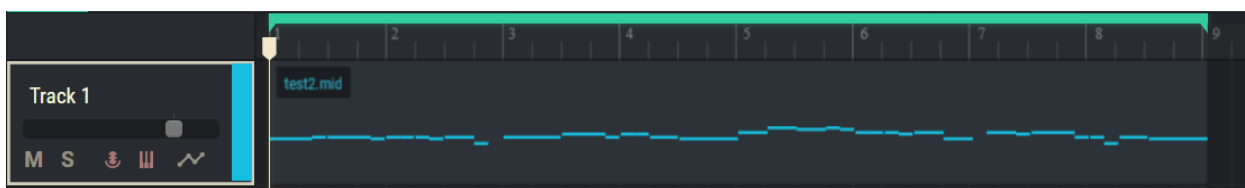


Рис.7 – Исходный MIDI-файл с мелодией

Полученный midi-файл состоит из трех треков: первый трек идентичный треку в исходном midi-файле, второй и третий треки с автоматически сгенерированным аккомпанементом. Полученный midi-файл, открытый в online-секвенсоре, представлен на рис.8.

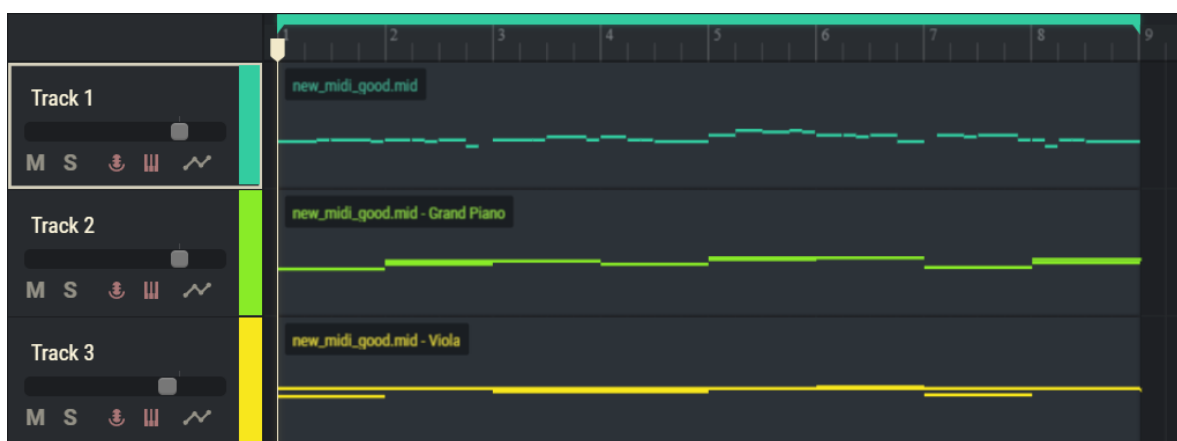


Рис.8 – MIDI-файл с автоматическим сгенерированным аккомпанементом

## Литература

1. Бакаев А.В. Корреляционный анализ вокальной речи как нестационарного случайного процесса // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1928/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1928/).

2. Бакаев А.В. Корреляционный анализ ансамблевого пения // Инженерный вестник Дона, 2014, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2447/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2447/).

3. Yifeng Li Application of computer-based auto accompaniment in music education // International Journal of Emerging Technologies in Learning, Vol. 15, No. 6, 2020 - 140-151 p. URL: [doi.org/10.3991/ijet.v15i06.13333](https://doi.org/10.3991/ijet.v15i06.13333).

4. Ахметов, А. Н. Разработка приложения «Генератор музыкальных произведений» // материалы XV Международной научно-практической конференции студентов аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2017. - С. 185-186. URL: [earchive.tpu.ru/bitstream/11683/46591/1/conference\\_tpu-2017-C04\\_p185-186.pdf](http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/46591/1/conference_tpu-2017-C04_p185-186.pdf)

5. Кюрегян Т. С. Гармония для начинающих: Практическое руководство для иностранных студентов: в 2-х ч. - М.: Научно-издательский центр «Московская консерватория», 2011 – 92 с.

6. Гвоздева С.В. Как подобрать аккомпанемент к мелодии: Пособие для учащихся колледжа / Рудный: КГКП "Рудневский музыкальный колледж", 2014. – 30 с.

7. Карпачева, В. Е. Цифровые аудиоформаты: феномен MP3 // Молодой ученый. - 2017. - № 31 (165). — С. 1-5. URL: [moluch.ru/archive/165/45326/](http://moluch.ru/archive/165/45326/).

8. Michael Gurevich, Stephan von Muehlen The Accordiatron: A MIDI Controller For Interactive Music, Proceedings of the CHI'01 Workshop on New Interfaces for Musical Expression (NIME-01), USA. - 2020 - 27-29 p.

9. Introduction to MIDI and Computer Music // Indiana University Bloomington. 2022. URL: [cecm.indiana.edu/361/midi.html](http://cecm.indiana.edu/361/midi.html) - (Дата обращения: 15.03.2022).

10. Mido - MIDI Objects for Python // Документация библиотеки Mido. 2022. URL: - [mido.readthedocs.io/en/latest/](http://mido.readthedocs.io/en/latest/) (Дата обращения: 29.04.2022).

### References

1. Bakaev A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1928/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1928/).

2. Bakaev A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, №2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1928/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1928/).

3. Yifeng Li International Journal of Emerging Technologies in Learning, Vol. 15, No. 6, 2020 - 140-151 p. URL: [doi.org/10.3991/ijet.v15i06.13333](https://doi.org/10.3991/ijet.v15i06.13333).
4. Ahmetov, A. N. Materialy XV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov aspirantov i molodyh uchenyh «Molodezh' i sovremennye informacionnye tehnologii». Tomsk: Izdatel'stvo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2017. pp. 185-186. URL: [earchive.tpu.ru/bitstream/11683/46591/1/conference\\_tpu-2017-C04\\_p185-186.pdf](http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/46591/1/conference_tpu-2017-C04_p185-186.pdf)
5. Kjuregjan T. S. Garmonija dlja nachinajushhih: Prakticheskoe rukovodstvo dlja inostrannyh studentov: v 2-h ch. [Harmony for Beginners: A Practical Guide for International Students: in 2 parts]. M.: Nauchno-izdatel'skij centr «Moskovskaja konservatorija», 2011. 92 p.
6. Gvozdeva S.V. Kak podobrat' akkompanement k melodii: Posobie dlja uchashhihsja kolledzha [How to Accompany a Melody: A College Student's Manual]. Rudnyj: KGKP "Rudnevskij muzykal'nyj kolledzh", 2014. 30 p.
7. Karpacheva, V. E. Molodoj uchenyj. 2017. № 31 (165). pp. 1-5. URL: [moluch.ru/archive/165/45326/](http://moluch.ru/archive/165/45326/).
8. Michael Gurevich, Stephan von Muehlen The Accordiatron: A MIDI Controller For Interactive Music, Proceedings of the CHI'01 Workshop on New Interfaces for Musical Expression (NIME-01), USA. 2020. Pp.27-29.
9. Introduction to MIDI and Computer Music. Indiana University Bloomington. 2022. URL: [cecm.indiana.edu/361/midi.html](http://cecm.indiana.edu/361/midi.html)
10. Mido - MIDI Objects for Python. Dokumentaciya biblioteki Mido. 2022. URL: [mido.readthedocs.io/en/latest/](http://mido.readthedocs.io/en/latest/)