

Е. Ш. Давиденкова-Хмара

О С Н О В Ы
спектрального
анализа
ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ

Министерство культуры Российской Федерации

Санкт-Петербургская государственная консерватория
имени Н. А. Римского-Корсакова

Кафедра оркестровки и общего курса композиции

Е. Ш. Давиденкова-Хмара

О С Н О В Ы СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ

Учебно-методическое пособие

Специальности:

53.05.05 Музыковедение (уровень специалитета)

53.05.06 Композиция (уровень специалитета)

Санкт-Петербург | Воронеж | 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Спектральный анализ звуковых сигналов: определение, основные цели и задачи данного метода	4
2. Краткий экскурс в историю возникновения спектрального анализа аудиоданных	5
3. Методология спектрального анализа звуковых колебаний	6
4. Учебные задания с применением спектрального анализа ...	12
5. Основы анализа звукового спектра	13
6. Рекомендации к выполнению практических заданий	19
7. Спектральная обработка аудиоданных: приборы и процессоры	25
8. Перечень программ, применяемых в учебной практике	25
9. Примерные вопросы для экспресс-тестирования	27
Список литературы	28
Приложение	31
Тезаурус	42



1. Спектральный анализ звуковых сигналов: определение, основные цели и задачи данного метода

Прежде чем давать описание такого понятия как спектральный анализ, определимся с терминами «сигнал» и «спектр». Приведем формулировку из учебника физики: «Сигнал — это материальный носитель информации. Для сигнала характерно изменение физической величины, представляющей его, со временем. Поэтому естественная математическая модель сигнала — это функция времени $S(t)$. Размерность $S(t)$ определяется размерностью соответствующей физической величины. <...> Широко используется другая математическая модель $F(\omega)$ — функция частоты, известная как спектр сигнала. Спектр и функция времени описывают один и тот же сигнал, следовательно, они взаимосвязаны»¹.

Спектральный анализ сигналов заключается в выявлении структуры сложных гармонических колебаний. Этот метод анализа основан на представлении данных в виде их частотной выборки, при этом общепринятым принципом обработки является разложение и преобразование Фурье. Французский математик Жан-Батист Жозеф Фурье (1768–1830) в своей теории сформулировал, что любое сложное колебание можно представить в виде суммы простейших колебаний, то есть любую периодическую функцию в случае ее соответствия некоторым математическим условиям возможно разложить в формате серии (суммы) синусоидальных волн и описать как ряд косинусов и синусов с определенными коэффициентами. Такой метод разложения сложного колебания на составные части получил название тригонометрический ряд Фурье. Спектр в этом контексте представляется набором составляющих, каждая из которых может быть измерена по ее частотным, амплитудным и фазовым параметрам.

Существует два основных принципа выполнения преобразования Фурье: в первом из них исходная функция непрерывна, во втором — исходная функция состоит из множества отдельных дискретных компонентов. В случае второго варианта преобразования можно выстроить сумму синусоидальных волн.

¹ Бойко Б. П., Тюрин В. А. Спектр сигнала : учебно-методическое пособие. Казань : Казанский федеральный университет, 2014. С. 7.



соид, то есть ряд Фурье. Именно этот вариант лежит в основе спектрального анализа звуковых явлений. Представление сложного гармонического звукового колебания, выполненное согласно положениям данного метода, выявляет ряд парциалов², зависимых от простого гармонического колебания фундаментальной частоты как ряд собственных частот, с самостоятельными характеристиками амплитуд и фаз.

Целью спектрального анализа звукового сигнала является выявление и измерение отдельных компонентов в общей структуре исследуемого спектра; вычисление для каждого парциала его амплитуды, частоты и характеристик фазового распределения; определение наличия или отсутствия шумовых компонентов и различных факторов флюктуации³ стабильных спектральных составляющих; характеристика типа сигнала исходя из его физической природы.

Задачи, решаемые данными методами — это сравнительный анализ спектров звуковых колебаний различной природы, сбор данных для последующей обработки и трансформации аудиоданных, определение объективных параметров и характеристик физических аудиосигналов для дальнейшей их эмуляции цифровыми средствами, и ряд других прикладных задач из области звукорежиссуры, акустики, электронной музыки, музыкознания и смежных научных и практических направлений.

2. Краткий экскурс в историю возникновения спектрального анализа аудиоданных

История спектрального анализа ведет свое начало с фундаментальных исследований Ж.-Б. Ж. Фурье. Этот французский математик и физик наиболее известен работами в области анализа сложных колебательных процессов. Благодаря исследованиям Фурье был установлен тот факт, что

² Здесь и далее понятие «парциал» означает дискретный элемент спектра, чаще всего простое гармоническое колебание в составе сложного звукового комплекса.

³ Здесь и далее рассматривается такой процесс как спектральная флюктуация — отклонение от среднего значения измеряемой величины, характеризующей тот или иной элемент, входящий в звуковой спектр.

непрерывная функция может быть представлена тригонометрическим рядом. Его самым значительным научным вкладом является исследование теплопередачи, основные положения которой легли в основу труда «Аналитическая теория тепла» (1822). В этой работе были представлены инновационные математические методы, известные сейчас как анализ Фурье, включая ряд Фурье и преобразование Фурье. Его теория открыла новый способ решения дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих различные физические явления, такие как поток тепла и спектральная составляющая звуковых колебаний. Хотя поначалу теория Фурье была встречена с некоторым скептицизмом со стороны ведущих математиков того времени, в конечном счете она произвела революцию в области математики и физики. Его исследования положили начало инновационному подходу к решению математических задач, связанных с периодическими функциями, которые применялись для анализа и обработки сигналов.

Основные аналитические методы, базирующиеся на теории Фурье, — это построение рядов Фурье: математический способ представления периодических функций в виде суммы более простых тригонометрических функций (синусов и косинусов); а также преобразование Фурье — расширение рядов Фурье для непериодической функции, позволяющей анализировать более широкий диапазон сигналов и данных. Эти математические понятия являются основополагающими для применения в различных областях, таких как обработка сигнала, компрессия изображения, фильтрация и анализ цифровых данных, медицинская визуализация (МРТ, компьютерная томография), улучшение дискретизации аудио- и видеосигналов, передача потока данных и модуляция звуковых волн.

Вслед за Фурье ряд исследователей второй половины XIX – первой половины XX веков применяли физические и математические методы для анализа звуковых сигналов. Основным результатом исследований, которые были проведены еще в докомпьютерную эпоху, заключался в том, что музыкальные звуки периодичны, и их восприятие зависит исключительно от формы волны, а более точно, от ее представления в форме спектра Фурье. В это же время в научный обиход был введен закон Ома о фазовой нейтральности слухового восприятия⁴. Если сформулировать это утверждение более точно — два звука, имеющие одинаковую структуру гармонических амплитуд, согласно теореме Фурье, но при этом различную структуру фазовых отношений, на слух будут неотличимы, несмотря на их различные результирующие формы волны (рис. 1).

⁴ Закон Ома о «фазовой глухоте» гласит, что музыкальный звук воспринимается ухом как набор ряда составляющих его чистых гармонических тонов. Этот закон был открыт физиком Георгом Омом (1789–1854) в 1843 году.



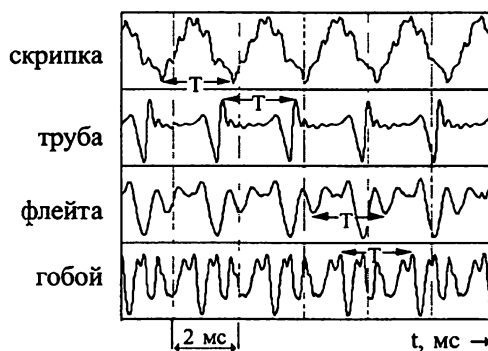


Рис. 1. Звуковые волны представляют сигналы с одинаковым спектром, но с различными фазовыми соотношениями между гармониками; эти звуки, существенно отличающиеся формами волны, на слух звучат почти одинаково, что подтверждает идею преимущественного воздействия спектра сигнала на слуховую оценку

Таким образом, сформировалось утверждение, что восприятие звуковых колебаний и их дифференциация зависят исключительно от спектра Фурье для данного звукового события. Наиболее авторитетным сторонником этой позиции был Гельмут Гельмгольц (1821–1894). Гельмгольц утверждал, что «характеристики звуков различных инструментов зависят от формы волны их начала и окончания», хотя он изучал только «свойства звуков, развитие которых было равномерно», отмечая, что это определяет «музыкальное качество звука»⁵.

В речи и пении гласные точно соотносятся со спектром своей структурой формант (парциалов). Форманта представляет собой вершину звуковой волны спектральной огибающей, имеющую определенную частоту и часто ассоциирующуюся с резонансом звукового источника (например, широко распространено понятие форманты ротового, носового, головного резонаторов). В звуках музыкальных инструментов спектральная картина более сложная, с включением достаточно сильно выраженных непериодических компонентов (шумовых призвуков). Можно констатировать, что представления спектров инструментальных звуков по методу Фурье будут сильно отличаться друг от друга в зависимости от плотности рядов и так называемой «огибающей» — математически выстроенного, амплитудно-частотного перехода от гармоник к гармоник (рис. 2).

⁵ Цит. по: Гельмгольц Г. Учение о слуховых ощущениях как физиологическая основа для теории музыки / перевод с нем. изд. М. Петухова. СПб.: тип. т-ва «Обществ. польза», 1875. XVI, 594 с.

6. Рекомендации к выполнению практических заданий

*Построение спектра дискретного аудиосигнала,
определение границ частотного и динамического диапазона.
Выявление спектральных максимумов, резонансов тракта*

В спектроанализаторах для построения графика спектра (или его визуализации в двух- или трехмерном пространстве) применяется команда Analyze. В разных программах есть определенные требования к формату аудиофайла, как правило, необходим формат .wav. В зависимости от типа представления можно вычислить границы частотного и динамического диапазона или в формате АЧХ, или на примере соотношения цветов в трехмерной визуализации зон цветовой интенсивности.

При анализе визуализированного представления спектра можно определить его структуру, а также ряд параметров. Если перед нами пример звука музыкальной природы, выявляется его методическая структура (по степени дискретности компонентов). По амплитудной оси можно выявить формантные зоны, то есть более яркие энергически. Сразу визуализируется распределение обертонов, формантные кластеры и частотные полосы. По изображению сонограммы можно сделать выводы о наличии шумов (часто окрашенных серым фоновым цветом или выраженных сплошным графиком) и их характере, наличии щелчков и ударов, артикуляционных особенностях, таких как вибрато, амплитудное тремоло, глиссандо. Весьма информативен для последующих обобщений такой параметр как структура строя. Его можно определить по частотной оси и измерить флюктуацию в центах.

Для анализа индивидуальных тембровых характеристик можно вычислить при помощи специальных плагинов наличие и положение центроида¹⁵ спектра. Измерение средней высоты звука осуществляется вычислениями средних уровней отклонений от темперированной шкалы в центах. Наиболее информативно будет выявление максимального отклонения мгновенной высоты¹⁶ тона от среднего значения на заданном интервале времени.

¹⁵ Так называемый балансный центр спектра, зона максимальной плотности и интенсивности при распределении общей спектральной массы. Совпадает с перцептивным ощущением зоны «яркости» спектра.

¹⁶ Импульсных амплитудных значений.

*Спектральный анализ вокальной речи. Выявление формантных областей.
Определение и исследование зоны певческой форманты.
Особенности спектрального анализа горлового пения*

Особенность спектрального анализа примеров, представляющих запись речи или пения, заключается в возможности визуализировать формантные зоны, отвечающие за структуру речи (так как гласным звукам соответствуют определенные формантные соотношения) и тембр голоса, за который отвечает высокая, так называемая, певческая форманта. Формантные зоны можно соотнести с собственными резонансами голосового тракта в таких участках как анафарингеальная полость, полости рта, носа, грудная полость, высокопозиционная резонансная головная полость. На рисунке 9 можно увидеть схему речевого тракта вплоть до головной полости.

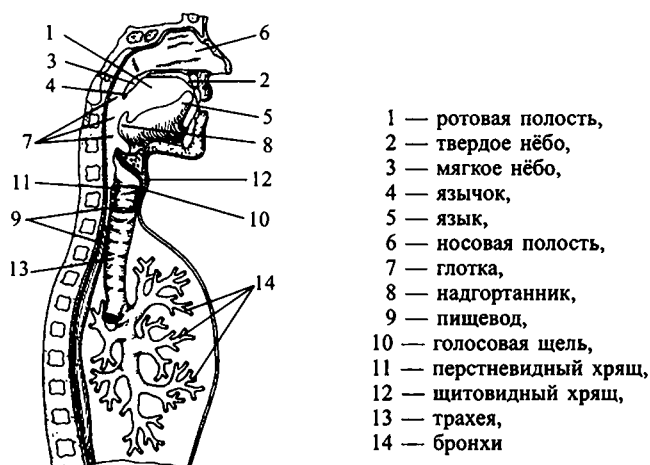


Рис. 9. Строение речевого тракта

В спектре голоса выявляется фундаментальная частота, которая имеет определенные характеристики. В речевом потоке она определяет высоту голоса, ее изменение используется для модуляции интонации, логических ударений, а иногда и смысла слов (например, в тональных языках, таких как китайский).

В обычной речи частота основного тона меняется в пределах менее одной октавы, при пении эта частота может изменяться в широких пределах (более двух октав — хотя известны уникальные певцы с возможностью изменения высоты основного тона до четырех октав).

Фундаментальная частота зависит от длины, массы и натяжения голосовых связок. Чем длиннее и тяжелее связки (это их врожденное свой-



ство), тем ниже основной тон голоса; чем они короче и тоньше, тем основная частота голоса выше. В соответствии с ларингологическими критериями тип голоса соотносится с длиной связок следующим образом: у басов — 25 мм, у теноров — 19–22 мм, у сопрано — 15–18 мм. В процессе речи и пения толщина и плотность связок могут значительно меняться за счет натяжения.

Формантами называют области энергетических максимумов речевого или вокального спектра. Каждому звуку речи (фонеме) соответствует своя форма вокального тракта, которая варьируется за счет артикуляции. На рисунке 10 представлена корреляция между процессами артикуляции, изменением формы звуковой волны и амплитудно-частотными характеристиками спектра на разных гласных звуках.

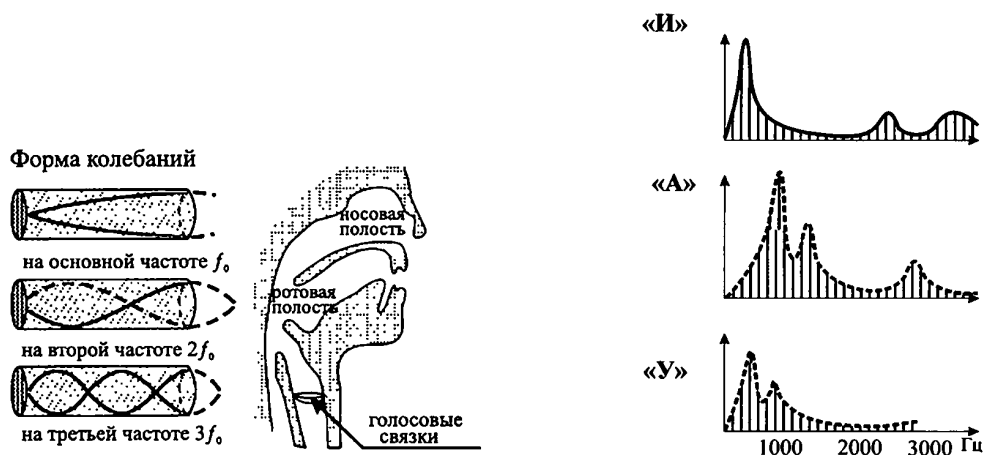


Рис. 10. Формантные зоны

Спектральный анализ позволяет также выявить локусную формантную картину рассматриваемого примера. В контексте акустического исследования она рассматривается как совокупность формант ротовой полости тракта, которая соответствует положению артикуляционных органов при произнесении согласного звука.

При анализе певческих спектров должны быть учтены следующие их характеристики. Диапазон воспроизводимых частот для основных (фонационных) частот вокального голоса зависит от диапазонов: бас — 82,4 Hz (E2)-329,6 Hz (F4); баритон — 110 Hz (A2)-415,3 Гц (G4); тенор — 130,8 Hz (C3)-523,25 Hz (C5); меццо-сопрано — 207,7 Hz (A3)-932,3 Hz (B5); сопрано — 261 Hz (C4)-1046,5 Hz (C6); колоратурное сопрано — 61,6 Hz (C4)-1318,5 Hz (E6). Общий частотный диапазон отдельно взятого голоса с учетом обертонов расширяется до 8–10 kHz.

7. Спектральная обработка аудиоданных: приборы и процессоры

1. Частотные корректоры. Регулировка соотношения частотных компонентов звукового сигнала. Воздействуют на тембр различных музыкальных инструментов.
2. Графические эквалайзеры. Используются при анализе структуры спектра, как база для применения фильтров.
3. Индикаторы уровня. Показывают границы динамического диапазона сигнала.
4. Гониометры и кореллометры. Показывают совместимость звуковых сигналов в различных форматах (моно, стерео, 5.1).
5. Приборы для изменения динамического диапазона. Лимитор, компрессор, экспандер, гейт. Изменяют энергетические отношения динамических полос в аудиосигнале.
6. Ревербераторы. Используются для моделирования акустического обрамления звукового файла.
7. Психоакустические процессоры. Тонкая работа с тембровыми параметрами.
8. Фильтры спектров голоса. Коррекция формантных зон, устранение шумовых компонентов, динамическая и спектральная обработка.

8. Перечень программ, применяемых в учебной практике

В списке приведены программы, используемые в классе музыкально-компьютерных технологий Санкт-Петербургской консерватории на конец 2024 года без указания версий (они быстро меняются). Курсивом выделены бесплатные программы.

Программы VST (работают по принципу программа в программе):

1. *Adc-StereoScope.*
2. *Voxengo AnSpec.*
3. *Freakoscope.*
4. *ALIVE beta (Tester).*
5. *LSP Spektrumanalysator.*
6. *The Seeker.*
7. *VPS Scope.*
8. *Sound Rider.*
9. *Spectrum Analyzer.*
10. *Oscarizor.*
11. *DRAnalyzer.*
12. *Dust Analyzer.*
13. *LVC-Meter.*
14. *Specan32.*

Программы спектроанализаторы:

1. *Spectroid.*
2. *Specrum anylizer.*
3. *Spear.*
4. *Spax.*
5. *Audizr.*
6. *Specrum anylizer Pro.*
7. *RTA audio anylizer.*
8. *Aspect Pro.*
9. *Amplifon.*
10. *Easera.*

Пакет Microsoft Office:

1. *Word.*
2. *Excel.*
3. *PowerPoint и др.*

Программы для записи звука:

1. *Sound Forge.*
2. *Wave Lab.*
3. *WaveLab Essentiale.*
4. *Audacity.*
5. *Kristal.*
6. *Reaper.*

Программы секвенсоры:

1. *Cubase.*
2. *Podium.*



Интерактивные программы реального времени:

1. *Pure Date.*
2. *Audio Mulch.*
3. *Max MSP.*

Виртуальные синтезаторы и сэмплеры:

1. *Kontakt.*
2. *Reactor.*
3. *Shortcircuit.*
4. *Abacos.*
5. *HighLife.*
6. *PitchBlack.*
7. *Outmeal.*
8. *Coagula* и др.

9. Примерные вопросы для экспресс-тестирования

1. Спектральный и временной анализ сигналов.
2. Высота звука. Определение. Психофизическая шкала (мелы, барки).
3. Музыкальная шкала звука (интервальные коэффициенты).
4. Зависимость высоты звука от интенсивности, от длительности.
5. Громкость. Механизм восприятия громкости, количественные методы ее определения, единицы измерения (соны).
6. Интервальные коэффициенты: правила определения, значения для основных интервалов, действия с интервальными коэффициентами при сложении и вычитании интервалов, примеры.
7. Тембр. Определения термина.
8. Временные и спектральные характеристики музыкальных звуков (связь через преобразование Фурье).
9. Три фазы музыкальных звуков.
10. Тембр и стационарный спектр сигналов.
11. Тембр и временная структура спектра.
12. Тембр и фазовые характеристики.
13. Тембр и общие принципы обработки сигналов: сегрегация, подобие, непрерывность и общее временное развитие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. *Алдошина И. А., Приттс Р.* Музыкальная акустика. СПб.: Композитор • Санкт-Петербург, 2009. 719 с.
2. *Андерсен А. В.* Современные музыкально-компьютерные технологии. СПб.: Лань, Планета музыки, 2013. 224 с.
3. *Лебедев С. Н., Трубинов П. Ю.* Прибавление к Русской книге о Finale. СПб.: Композитор • Санкт-Петербург, 2009. 57 с.
4. *Лепская Н. А.* Художник и компьютер. М.: Когито-Центр, 2013. 172 с.
5. *Королев А. А.* Бесплатные программы для музыканта. СПб.: Композитор • Санкт-Петербург, 2008. 144 с.
6. *Кузнецов Л. А.* Акустика музыкальных инструментов: справочник. М.: Легпромиздат, 1989. 368 с.
7. *Назайкинский Е. В.* Проблемы теории и практики экмелической музыки (информационно-аналитический обзор) // Музыка в информационном мире. Наука. Творчество. Педагогика: сб. науч. ст. / науч. ред. Г. Р. Тараева, Т. Ф. Шак. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовской гос. консерватории им. С. В. Рахманинова, 2004. С. 44–64.
8. *Останькович Д. В.* Нотный редактор Sibelius 6: учебное пособие по курсу «Компьютерная нотография» для студентов музыкальных специальностей бакалавриата. Астана: Лик, 2015. 87 с.
9. *Устинов А. А.* Параметрическое представление музыкального произведения. Трансформация метра, ритма, лада в реальном времени // Музыкальная культура как национальное и мировое явление: материалы междунар. науч. конф. / ред.-сост. Б. И. Шиндин. Новосибирск: Новосиб. гос. консерватория им. М. И. Глинки, 2002. С. 23–31.
10. *Харуто А. В.* Компьютерный анализ звука в музыкальной науке. М.: Московская гос. консерватория им. П. И. Чайковского, 2015. 447 с.
11. *Харуто А. В.* Компьютерный анализ звукооряда по фонограмме // Музыкальная академия. 2010. № 3. С. 83–89.
12. *Харуто А.* Компьютерный анализ высоты звука в музыковедческом исследовании: информационный аспект // Музыкальная академия. 2016. № 3. С. 98–102.
13. *Харуто А. В.* Музыкальная информатика: теоретические основы. М.: Изд-во ЛКИ, 2009. 397 с.
14. *Харуто А. В., Смирнов Д. В.* Использование компьютерного анализа в исследовании звуковысотного строения народной музыки // Музыка устной традиции: материалы междунар. науч. конф. памяти А. В. Рудневой / науч. ред. Н. Н. Гилярова; сост. В. М. Щуров, Н. Н. Гилярова. М.: Московская гос. консерватория им. П. И. Чайковского, 1999. С. 335–



340. (Научные труды Московской государственной консерватории им. П. И. Чайковского. Сб. 27).
15. *Шапилов В. А.* Основы работы в нотном редакторе Finale 2014. Алматы : Казахская национальная консерватория им. Курмангазы, 2014. 180 с.
 16. *Юнусова В., Харуто А.* Компьютерный анализ параметров стиля исполнения в традиционной культуре (на материале классической музыки Востока) // Музыкальная академия. 2015. № 1. С. 143–147.
 17. *Ganguli K. K., Rao P.* Towards Computational Modeling of the Ungrammatical in a Raga Performance // Proceedings of 18th International Society for Music Information Retrieval Conference, Suzhou, China, October 23–27, 2017 / ed. by S. J. Cunningham, Zh. Duan, X. Hu, D. Turnbull. Suzhou : [s. n.], 2017. P. 39–45.
 18. *Gedik A. C., Bozkurt B.* Pitch-frequency histogram-based music information retrieval for Turkish music // Signal Processing. Vol. 90. Issue 4 (April 2010). P. 1049–1063.
 19. *Tzanetakis G., Kapur A., Schloss W. A., Wright M.* Computational Ethnomusicology // Journal of Interdisciplinary Music Studies. Vol. 1. Issue 2 (Fall 2007). P. 1–24.

Дополнительная литература

1. *Белунцов В.* Музыкальные возможности компьютера. СПб.: Питер, 2000. 360 с.
2. *Динов В. Г.* Звуковая картина. Записки о звукорежиссуре. СПб.: Лань; Планета музыки, 2018. 486 с.
3. *Завырылина С.* Использование информационно-компьютерных технологий в классе компьютерной аранжировки // Музыка и Электроника. 2005. № 3. С. 13–14.
4. *Зуев Б., Денисенко П.* Искусство программирования MIDI – файлов. М.: ЭКОМ, 2000. 290 с.
5. *Камерис А.* Методические рекомендации в преподавании программ-секвенсоров для музыкантов // Современное музыкальное образование, 2003 : материалы междунар. научно-практич. конф., 9–11 октября 2003. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2003. С. 242.
6. Музыкальная акустика : [учебное пособие для консерваторий] / под общ. ред. Н. А. Гарбузова. Изд. 2-е. М.: Музгиз, 1954. 236 с.
7. *Рагс Ю. Н.* Перспективы развития курса информатики в музыкальных образовательных учреждениях // Современное музыкальное образование, 2003 : материалы междунар. научно-практич. конф., 9–11 октября 2003. СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2003. С. 199.
8. *Тараева Г. Р.* Компьютер и инновации в музыкальной педагогике : в 3 кн. М.: Классика-XXI, 2007. 480 с.



9. *Щербакова И. В.* Возможности применения в музыкальной педагогике мультимедийных технологий // Современное музыкальное образование, 2003 : материалы междунар. научно-практич. конф., 9–11 октября 2003. СПб. : Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2003. С. 209.
10. *White P.* Sound on sound book of creative recording=Пол Уайт Творческая звукозапись. М. : RUGRAM, 2022. 380 с.

Интернет-ресурсы

1. Официальный сайт производителя программы Finale:
<http://www.finalemusic.com/finale/home.aspx>
2. Англоязычный форум пользователей Finale:
<http://forum.makemusic.com>
3. Англоязычный сайт с разнообразными справочными материалами:
<http://www.finaletips.nu>
4. Finale в социальной сети ВКонтакте:
<http://vk.com/club12165481>
5. Отечественный форум о академической музыке, раздел, посвященный Finale:
<http://www.forumklassika.ru/forumdisplay.php?f=56>
6. Русскоязычный сайт авторов первого отечественного учебника по Finale:
<http://www.notovodstvo.ru>
7. Сайт, на котором содержатся различные программные дополнения для Finale:
<http://www.tgtools.de>



1. *Пример анализа спектровременных характеристик пения в контексте акустической обстановки. Анализ проведен для проекта исследования акустики Спасо-Преображенского собора Соловецкого монастыря*

В звуковой конструкции песнопения, которую зафиксировали фонограммы, записанные в акустике собора, можно выделить ряд наиболее ярких по спектро-динамическим характеристикам участков, концентрирующих энергетический ресурс психофизического воздействия на слушателя. Начальная фраза является экспозицией спектрального поля, актуализирующегося во время исполнения песнопения, представляя ровный подъем от фундаментальных частот в области 100 Гц, через подъем в формантной зоне низких певческих формант 350 и 500 Гц до 700 Гц, область высоких певческих формант представлена скупом, динамически скрадываясь в тени ярко выраженной зоны средних частот. Фраза, начинающаяся словом «слава», обращает на себя внимание подъемом в области «полетных» для вокальной речи 1200 Гц (которая по наблюдениям специалистов, в частности, В. П. Морозова, придает голосу акустическую силу и тембральную ясность) и выраженным динамическим усилением в области певческих формант (3600 Гц). При этом данные области, если рассматривать их в процессуальной динамике, согласованы между собой, создавая мерцание гармоник и переключение формант, выстраивая ровную картину амплитудно-частотного баланса, так как динамический уровень высокой формантной зоны соответствует уровню низких, фундаментальных частот спектрограммы.

В зоне мелодической фразы «свет» даже оптически в картине спектрограммы «высвечивается» резонанс (1300 Гц) и явственно видна зона вторичного резонанса (отсвет) в область высших гармоник — 3300 Гц (ил. 1, 2). Мелоформула в зоне «Троицу» также визуально демонстрирует расширение начальных спектральных границ распределения спектральных зон — подъем в диапазоне 1450 Гц, ровно переходящий в область высоких певческих формант (ил. 2, 3). Кульминацией становится подъем в конце распева, аккумулирующий энергию в области высокой певческой форманты (ил. 4).

Особенность акустики Преображенского собора, заключающаяся в подчеркивании зоны певческих формант мужского певческого голоса, очень эффективно усиливает спектральный ресурс, лежащий в основе сонографического звукового представления, заложенного в структуре песнопений. Области спектральных подъемов (формируемые фонетической и мелодической картиной звучания) в акустике собора звучат значительно, возвышенно, ясно.

Гармонические нелинейные искажения — появление в частотном спектре сигнала дополнительных составляющих, кратных основной частоте. Например, схема, усиливающая синусоиду частотой 1 кГц, создает составляющие с частотой 2 кГц (вторая гармоника), 3 кГц (третья гармоника) и так далее.

Громкость — сила звукового ощущения, вызываемого у человека с нормальным слухом. Громкость изменяется пропорционально не силе звука, а логарифму ее изменения. Обычно громкостью называют число децибелов, на которое данный звук превышает звук, принятый за порог слышимости.

Децибел (дБ) — логарифмическая мера отношения двух сигналов. Эта единица используется в аудиоизмерениях по двум причинам: во-первых, субъективное восприятие звука линейно соответствует логарифмическому закону; во-вторых, динамический диапазон слуха человека, измеренный в абсолютных величинах звукового давления (Па), очень большой, поэтому в данном случае логарифмическая шкала является более удобной для использования, чем линейная. Стандартная единица измерения относительной мощности или амплитуды сигнала, десятая часть бела.

Динамический диапазон — разница между наибольшей и наименьшей громкостью в звуковой передаче. Измеряется в децибелах.

Звук — колебания воздуха, возникающие при механических колебаниях (вибрациях) разных тел и воздействующие на человеческое ухо. Диапазон слышимых колебаний 20–20000 Гц.

Звуковая мощность — звуковая энергия, проходящая через данную поверхность за 1 сек. Звуковая мощность может быть определена по величине звукового давления.

Звуковое давление — давление на единицу площади, создаваемое звуковыми колебаниями. Измеряется в паскалях, барах или децибелах.

Интервал — отношение числа колебаний двух тонов.

Интерференция — взаимно ослабляющее или усиливающее действие двух звуковых колебаний одинаковой частоты, прибывающих одновременно в одно место с разницей в фазах. При совершенно одинаковых фазах происходит увеличение, а при противоположных — уменьшение громкости.

Обертоны — все тоны, кроме основного, создаваемые колеблющимся телом (источником звука). Если их частоты в целое число раз (2, 3, 4 и т. д.) больше, чем число колебаний основного тона, то их называют гармониками.



Основной тон или фундаментальная гармоника — наиболее низкий тон, создаваемый колеблющимся телом (источником звука).

Пик — кратковременный сигнал высокого уровня. Также это подъем частотной характеристики или увеличение спектральной мощности в узком диапазоне частот. Противоположность: провал (dip) period — период — время полного цикла синусоидального колебания.

Сила звука — звуковая мощность, проходящая за 1 сек через поверхность в 1 см². Сила звука пропорциональна квадрату звукового давления.

Тембр — «окраска» звука. Определяется числом и частотой обертонов. Состав последних характерен для разных источников звука.

Тембральный баланс — способность аудиосистемы на выходе правильно передавать соотношения обертонов входного сигнала.

Тональный баланс — способность аудиосистемы на выходе правильно передавать соотношения тонов входного сигнала.

Шум — совокупность очень большого числа отдельных тонов разной высоты и громкости.