

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕР-
СИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**
им. проф. М.А.Бонч-Бруевича

Кафедра РПВЭС и ЭА

В.А. Никамин

**ЗРИТЕЛЬНО-СЛУХОВОЕ ВОСПРИЯТИЕ
АУДИОВИЗУАЛЬНЫХ ПРОГРАММ**

**Методические указания
к выполнению лабораторных работ**

специальность 210400 («Аудиовизуальная техника»)

Санкт-Петербург
2014

УДК
ББК
Н62

Рецензент
кандидат технических наук, профессор
А.А. Фадеев

*Рекомендовано к печати
редакционно-издательским советом университета*

Никамин, В.А.
Н62 Зрительно-слуховое восприятие аудиовизуальных программ: методические указания к выполнению лабораторных работ/ В.А. Никамин, ГОУВПО СПбГУТ. – СПб, 2014.

Изложены методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Зрительно-слуховое восприятие аудиовизуальных программ». Для каждой работы приводятся описания элементов теории, необходимых для осмысленного ее выполнения, контрольные вопросы, а также список литературы.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 210400 «Аудиовизуальная техника».

**УДК
ББК**

© В.А. Никамин, 2014
© Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Выполнение лабораторных работ, представленных в сборнике, закрепляет знания, полученные в ходе изучения дисциплины «Зрительно-слуховое восприятие аудиовизуальных программ», и способствует более полному усвоению изложенного в нем материала.

Целью работы 1 является исследование разрешающей способности слуха по интенсивности. В процессе ее выполнения студенты получают навыки снятия характеристик абсолютного порога слышимости по интенсивности (кривой абсолютной слышимости) при моноауральном прослушивании звукового сигнала – для каждого уха в отдельности, и при бинауральном прослушивании – для обеих ушей вместе.

В работе 2 студенты изучают дифференциальные пороги слуха по частоте и их зависимость от уровня громкости прослушиваемого сигнала и от диапазона частот, в котором этот сигнал находится.

В работе 3 студенты исследуют маскирующее действие шумов различного характера: белого, розового и броуновского, а также зависимость маскирующего действия каждого из этих видов шумов от частоты маскируемого сигнала.

Работа 4 посвящена исследованию явлений консонанса и диссонанса и основных музыкальных интервалов: октавы, квинты, кварты, терции и пр. В процессе ее выполнения студенты создают и прослушивают созвучия из сигналов, которые находятся в различных частотно-временных соотношениях друг с другом. Как следствие, студенты осваивают принципы построения музыкальных шкал и наиболее часто используемых в музыке трезвучий, в том числе мажорных и минорных.

Кроме того, в процессе выполнения заданий студенты осваивают работу с одной из наиболее интересных профессиональных программ для работы со звуком – ADOBE AUDITION.

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М.А.Бонч-Бруевича**

Кафедра РПВЭС и ЭА

Лабораторная работа №1

по курсу

**«Зрительно-слуховое восприятие аудиовизуальных
программ»**

**«Исследование абсолютных порогов слуха по интенсивности с
помощью программы ADOBE AUDITION»**

Цели работы:

- исследование абсолютных порогов слуха по интенсивности;
- ознакомление с программой ADOBE AUDITION.

Элементы теории восприятия звука. Разрешающая способность слуха

Оценка возможностей слуховой системы человека воспринимать звуковые сигналы, а также различать их по высоте и интенсивности, является весьма важной задачей во многих областях человеческой деятельности. Из практики и проведенных исследований известно, что возможности нашего слуха очень велики, хотя и не до такой степени как у некоторых представителей животного мира: многие из них способны слышать куда более слабые звуки и диапазон воспринимаемых частот у них гораздо шире. Некоторые физиологи считают, что человек на ранних стадиях своего развития также обладал более тонким слухом (а также более острым зрением и более тонким обонянием), но в процессе эволюции и под воздействием цивилизации эти органы чувств у него утратили былое значение и, как следствие, былую чувствительность.

В звукотехнике точное знание пределов возникновения слуховых ощущений играет чрезвычайно важную роль, поскольку определяет те ориентиры, которые должны иметь в виду исследователи и разработчики звуковой аппаратуры в своей профессиональной деятельности.

Прежде всего, любая электронная система обработки, передачи или воспроизведения звукового сигнала вносит в него те или иные искажения. Поэтому задача разработчика состоит в том, чтобы эти искажения на выходе проектируемой им аппаратуры были заведомо меньше того уровня, когда они становятся заметными на слух.

Кроме того, современные цифровые системы передачи и записи информации имеют физические ограничения как по объему передаваемых в единицу времени данных, так и по емкости носителя. Естественное стремление передавать или записывать звуковые сигналы с как можно более высоким качеством приводит к еще большему увеличению объема информации, что входит в противоречие с ограниченной пропускной способностью каналов передачи и записи. Единственным выходом из создавшейся ситуации является скрупулезное изучение особенностей человеческого слуха и устранение из потока звуковых данных тех его частей, которые либо совсем не воспринимаются на слух, либо воспринимаются с большим трудом. Этими-то вопросами как раз и занимается психоакустика.

Пороги слуховых ощущений принято делить на две группы: абсолютные и дифференциальные.

Абсолютный слуховой порог - это то минимальное значение какого-либо из объективных параметров звукового сигнала (интенсив-

ности, частоты, длительности и др.), при котором у человека возникает слуховое ощущение. Абсолютные слуховые пороги характеризуют чувствительность слухового аппарата к данному параметру: чем ниже слуховой порог, тем выше чувствительность.

Дифференциальный слуховой порог - это минимальная разница в значении данного объективного параметра звука, которую человеческий слух способен обнаружить.

Абсолютные слуховые пороги

Абсолютные слуховые пороги определяются, прежде всего, по следующим объективным параметрам звукового сигнала: интенсивности (звуковому давлению), частоте и длительности.

Абсолютные слуховые пороги по интенсивности

Абсолютный слуховой порог по интенсивности очень сильно зависит от частоты звуковых колебаний, поэтому для его определения пользуются графиком, который наглядно показывает, как изменяется минимальное значение звукового давления, воспринимаемого человеческими органами слуха как звук, в зависимости от частоты акустических колебаний. Такой график называется **кривой абсолютного порога слышимости** (рис. 1). Определяется он в полосе частот от 20 до 20000 Гц – именно в этом диапазоне человеческий слух способен воспринимать акустические колебания как звук. Однако следует иметь в виду, что такая широкая полоса слышимых частот скорее физиологический предел возможностей человеческого слуха – в действительности подавляющее большинство людей даже в молодом возрасте (18-25 лет), когда острота слуха наивысшая, способно слышать звуки только в диапазоне 30-35...16000-18000 Гц. Тем не менее, есть данные, что отдельные люди способны слышать звуки даже с частотой 22000 Гц.

Абсолютный порог слышимости по интенсивности – это минимальное значение звукового давления, при котором еще наблюдается слуховое ощущение. Он характеризует чувствительность слуха к интенсивности звуковой энергии.

Абсолютный порог слышимости принято выражать в децибелах по отношению к некоторой стандартной величине звукового давления $p_l = 2 \times 10^{-5}$ Па (10^{-12} Вт/м²), которая условно принята за точку отсчета (0 дБ) при таких оценках. Как видно из рис. 1, наибольшей чувствительностью человеческий слух обладает на средних частотах - в диапазоне от 2000 до 5000 Гц. Здесь абсолютный порог слышимости даже меньше 2×10^{-5} Па ($\sim 1 \times 10^{-5}$ Па). Такая форма характеристики чув-

ствительности слуха с уменьшением ее на краях диапазона слышимых частот определяется резонансными свойствами наружного и среднего уха. Резонансная частота слухового прохода находится в области частот от 3000 до 4000 Гц, барабанной перепонки – на частотах от 1200 до 1400 Гц, а системы слуховых косточек – в области частот от 2500 до 3000 Гц.

Для наглядной иллюстрации возможностей человеческого слуха можно заметить, что звуковое давление, возникающее вследствие броуновского движения молекул при температуре 25°C , составляет 5×10^{-6} Па. Т.е. если бы чувствительность слуха была бы еще вдвое выше, мы бы слышали непрерывный шум флуктуаций молекул воздуха и шум тока крови в сосудах головы, что нагружало бы наше сознание ненужной информацией. Таким образом, чувствительность слуха находится на пределе биологической целесообразности. Разумные пороги слышимости сформировались, вероятно, в процессе эволюции.

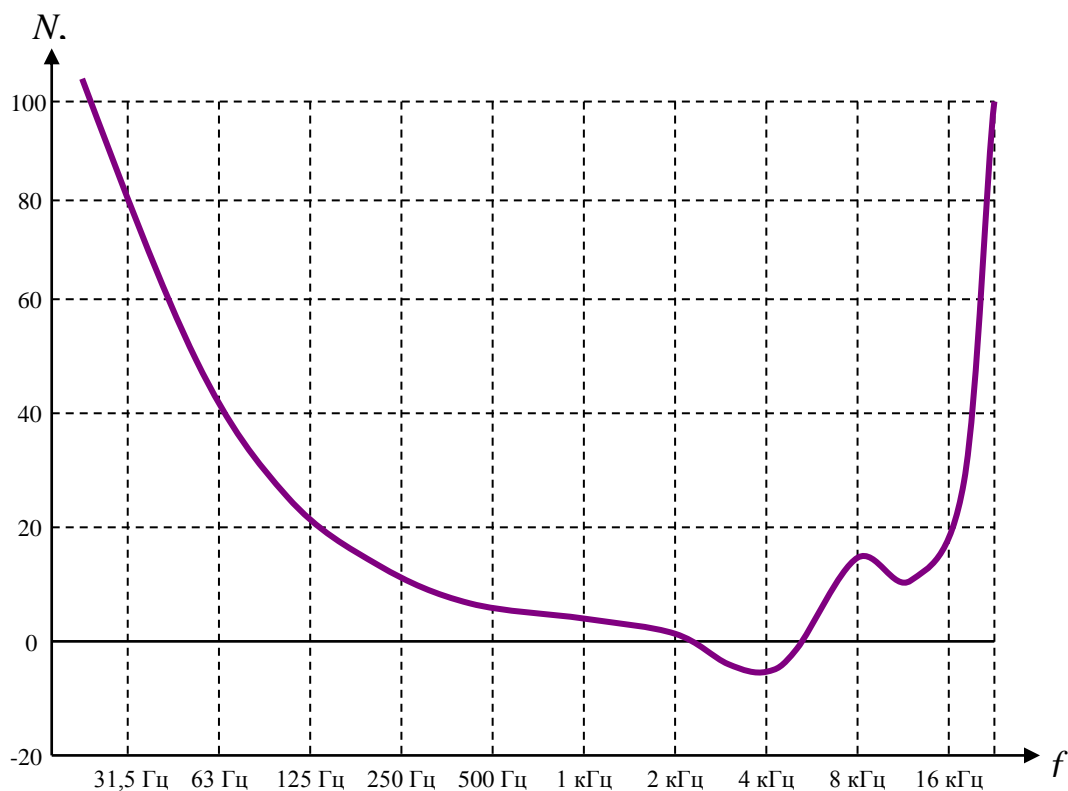


Рис. 1. Кривая абсолютного порога слышимости, построенная по результатам измерений в условиях свободного поля

С другой стороны человек способен ощущать как звук акустические колебания с уровнем 120 дБ (звуковое давление $p_2 = 20$ Па). Таким образом, легко оценить динамический диапазон слуха: он составляет величину $p_2/p_1 = 10^6$ (т.е. самый громкий звук, воспринимаемый

слухом, в 1 млн. раз больше самого слабого). Другими словами, динамический диапазон слуховой системы человека составляет 120 дБ.

Следует отметить, что кривая абсолютного порога слышимости (в том числе и на рис. 1) является достаточно приближительной, поскольку ее значения зависят от условий прослушивания, характера испытательного сигнала и других причин. Кроме того, чувствительность слуха у разных людей даже одного возраста имеет достаточно большой разброс – примерно $\pm 10\%$, а с возрастом слуховые пороги возрастают – особенно в области высоких частот. Обычно на частоте 10 кГц чувствительность слуха у 60-летнего человека на 20 дБ ниже, чем у 20-летнего.

Для определения абсолютного порога слышимости обычно используют результаты измерений, полученные на синусоидальном сигнале в условиях свободного поля (т.е. в заглушенной камере). В качестве испытуемых приглашают людей со здоровым слухом в возрасте 18-25 лет – как тренированных, так и обычных, не имеющих специальной подготовки. В качестве источника сигнала используют громкоговоритель, который размещают прямо перед слушателем. Испытания проводятся индивидуально с каждым экспертом. Испытуемый имеет возможность регулировать громкость звукового сигнала – то уменьшая ее до тех пор, пока звук перестает быть слышимым, то увеличивая до величины, когда звук вновь начинает ощущаться на слух. Такие испытания проводятся на различных частотах в пределах диапазона слышимости, и на каждой из частот отмечается граничный уровень. По результатам, полученным для каждого из испытуемых, затем рассчитываются среднестатистические величины.

Для того чтобы избавиться от неоднозначности, связанной с тем, что слуховые пороги у разных людей сугубо индивидуальны, их усредненные значения для некоторых частот были зафиксированы в международном стандарте ISO R-226-85 (табл. 1). Эти значения соответствуют результатам испытаний, проведенных в свободном поле при прослушивании звуковых сигналов через громкоговоритель, размещенный прямо перед слушателем на равном расстоянии от обоих его ушей. Следует отметить, что при перемещении источника звуковых сигналов по азимуту относительно центральной линии головы, абсолютные слуховые пороги будут изменяться за счет изменения характера резонансных явлений в ушных раковинах и дифракции звуковых волн вокруг головы. Возраст испытуемых 18-25 лет.

Таблица 1.

Значения слуховых порогов в свободном поле

f , Гц	100	200	400	800	1000	2000	3150	5000	8000	12500
N , дБ	25,1	13,8	7,2	4,4	4,2	1,0	-3,6	-1,1	15,3	11,6

Слуховые пороги, снятые при моноауральном прослушивании (т.е. для каждого уха в отдельности), оказались примерно на 3 дБ выше, чем при бинауральном прослушивании (т.е. двумя ушами). Кроме того, слуховые пороги для правого и левого уха могут отличаться друг от друга.

Кривая абсолютного порога слышимости, снятая с помощью звуковых сигналов, подаваемых через головные телефоны, отличалась по форме от кривой, снятой при помощи громкоговорителя, и в среднем оказалась на 5-10 дБ выше. Этот факт говорит о том, что в стереотелефонах, когда ушная раковина прижата к голове и не влияет на величину звукового давления у барабанной перепонки, человек слышит немного хуже. Что, в свою очередь, можно считать косвенным доказательством того, что резонансные явления, возникающие в ушной раковине, обеспечивают человеку некоторое увеличение остроты слуха.

Болевой порог и область слышимости

Ограничение слухового восприятия акустических колебаний существует и в области громких звуков. Если звуковое давление синусоидального акустического сигнала постепенно увеличивать, то при достижении его значения величины примерно в 10 Па ($N = 100$ дБ) у человека в органах слуха появляются неприятные ощущения. По этой причине такую величину звукового давления принято называть ***порогом неприятного ощущения***.

Если увеличить звуковое давление до 60-80 Па ($N = 132$ дБ), то у человека возникает ощущение физического давления на уши – эта величина называется ***порогом осязания***.

Если звуковое давление продолжать увеличивать и далее, то при его значении для синусоидальных сигналов 150-200 Па ($N = 140$ дБ) в ушах возникает боль и такое значение называется ***болевым порогом***. Для шумовых сигналов со сплошным спектром болевой порог даже ниже и составляет 120 дБ.

Слуховая система человека по своей природе адаптирована для восприятия, в основном, тихих звуков и звуков средней интенсивности. Поэтому чересчур громкие звуки при достаточно длительном воздействии могут привести к необратимому изменению порогов слу-

ха в сторону их повышения вплоть до полной глухоты. Степень повреждения слуха пропорциональна как величине интенсивности, так и времени воздействия громких звуков. После воздействия громких звуков острота слуха у человека снижается всегда – срабатывает естественный механизм адаптации слуховой системы. Однако если время воздействия и громкость звука были не слишком велики, то через некоторое время слуховые пороги восстанавливаются. Хотя процесс их восстановления может продолжаться до 16-20 часов. Такое явление принято называть **временным сдвигом порога слуховой чувствительности**, или «**постстимульным утомлением**». Сдвиг слухового порога начинает проявляться даже при относительно невысоких уровнях громкости – уже при уровне звукового давления всего лишь 75 дБ (громкий разговор, смех на расстоянии 1 м). Чем выше уровень звукового сигнала, тем сильнее сдвиг слухового порога. Величина сдвига порогов также пропорциональна логарифму времени воздействия громких звуков – длительное воздействие даже не очень громких звуков может, тем не менее, привести к достаточно существенному сдвигу слухового порога. Если время нахождения под воздействием громких звуков превышает допустимые нормы, то полного восстановления порогов слуховой чувствительности не происходит, острота слуха постепенно снижается и, в конце концов, все это может привести к полной глухоте, которая практически не поддается лечению. Замечено, что особенно опасны в этом отношении высокочастотные составляющие звуковых сигналов, поскольку они оказывают наибольшее влияние на сдвиг порога слуховой чувствительности.

Контрольные вопросы

1. Что такое абсолютный слуховой порог?
2. Что такое абсолютный порог слышимости по интенсивности?
3. Что характеризует кривая абсолютного порога слышимости?
4. Какая величина звукового давления принята за 0 дБ при оценке порога слышимости по интенсивности?
5. В каком диапазоне частот человеческий слух обладает наибольшей чувствительностью?
6. Чему равен динамический диапазон слуховой системы человека?
7. От чего зависит чувствительность слуха у разных людей?
8. Каким образом организуется процедура определения абсолютного порога слышимости?

9. Отличаются ли слуховые пороги, снятые при моноауральном прослушивании, от слуховых порогов, снятых при бинауральном прослушивании?

10. Отличаются ли слуховые пороги, снятые с использованием громкоговорителя, от слуховых порогов, снятых с помощью головных телефонов? Если отличаются, то как именно?

11. Что такое порог неприятного ощущения и чему он равен?

12. Что такое порог осязания и чему он равен?

13. Что такое порог болевого ощущения и чему он равен?

14. Что такое постстимульное утомление и когда оно проявляется?

Литература

1. В.А. Никамин. Зрительно-слуховое восприятие аудиовизуальных программ.: Учебник / ГОУВПО СПбГУТ. – СПб, 2014.

2. Акустика: Учебник для вузов / Ш.Я. Вахитов, Ю.А. Ковалгин, А.А. Фадеев, Ю.П. Щевьев; под ред. Ю.А. Ковалгина. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009.

3. И.А. Алдошина, Р. Приттс. Музыкальная акустика. Учебник. – СПб.: Композитор. – СПб, 2006.

Порядок выполнения работы

Открыть программу **Adobe Audition**, щелкнув дважды по ее ярлыку.

1. Сформировать тестовый синусоидальный сигнал с частотой 1000 Гц. Для этого:

- В меню **Файл (File)** щелкнуть **Новый (New)** и в открывшемся окне установить:

- **Частоту дискретизации (Sample Rate)** – 48кГц;
- **Каналы (Channels)** – Моно;
- **Разрешение (Resolution)** – 32 бит.

Нажать кнопку **ОК**.

2. В меню **Создать (Generate)** щелкнуть **Тона (Tones)** и в открывшемся окне установить (рис. 2):

- **Основную частоту (Base Frequency)** – 1000 Гц;
- **Форму сигнала (Flavor)** – синус (**Sine**);
- **Длительность (Duration)** – 30 секунд.
- **dB Громкость (dB Volume)** – 6 дБ;

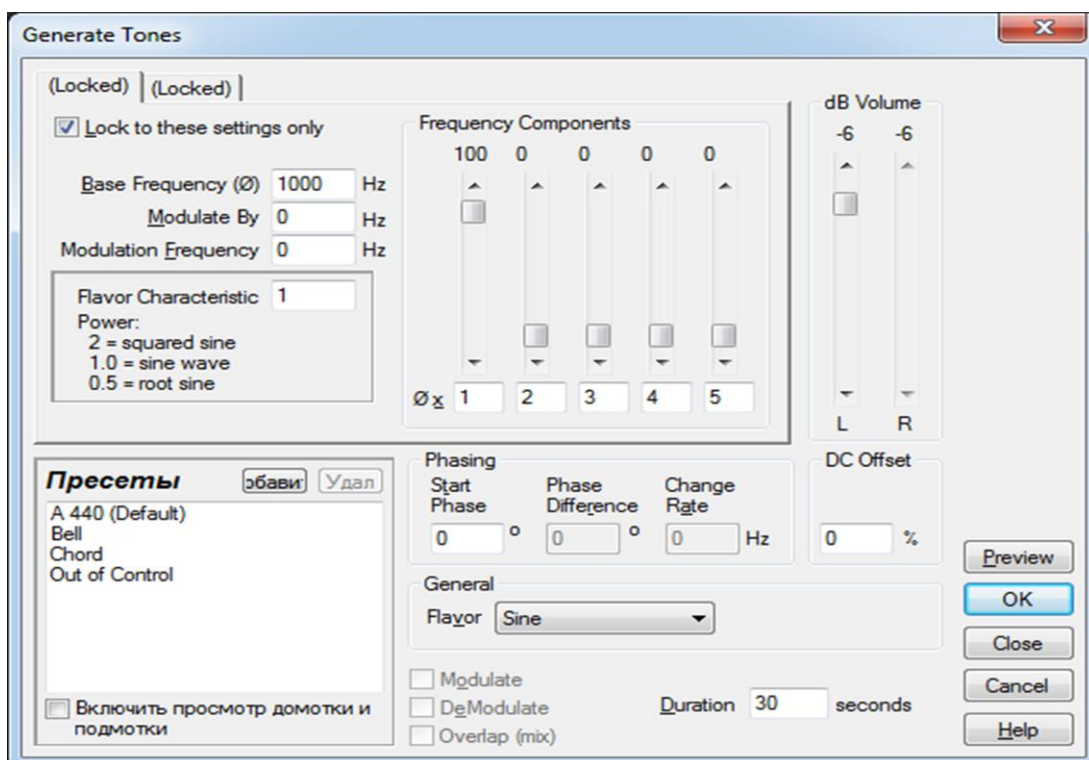


Рис. 2. Окно установки параметров сигнала программы Adobe Audi-

3. Установив регулятор громкости головных телефонов на максимум, нажать кнопку *Preview* и прослушать полученный сигнал левым ухом, плотно закрыв правое ухо. Перемещая ручку регулятора *dB Громкость (dB Volume)* найти такое ее положение, которое будет соответствовать порогу слышимости звукового сигнала на этой частоте. Занести значение громкости $N_{\text{изм}}$ в дБ в табл. 1 отчета.

Примечание 1. Для того чтобы более точно определить порог слышимости, можно вблизи границы слышимости попеременно включать и выключать звук кнопкой *Preview/Stop*.

Примечание 2. Если при максимальном ослаблении (-80 дБ) звук на частоте 1000 Гц все-таки прослушивается, уменьшить громкость с помощью регулятора громкости головных телефонов до его исчезновения + примерно 3 дБ.

4. Повторить эксперимент для всех частот, указанных в табл.1 отчета.

5. Повторить п.п. 2 и 3 для правого уха. Результаты измерений занести в табл. 2 отчета.

6. Повторить эксперимент, создав стереофонический сигнал и прослушивая его обоими ушами. Результаты занести в табл. 3 отчета.

7. Рассчитать значения $N_{\text{расч}}$, для чего принять за 0 дБ минимальное из измеренных значений (для левого уха, правого и для обоих ушей) при частоте 1000 Гц и вычесть это значение из всех измеренных значений $N_{\text{изм}}$.

8. Построить графики кривой абсолютного порога слышимости для левого уха, правого и обоих ушей вместе.

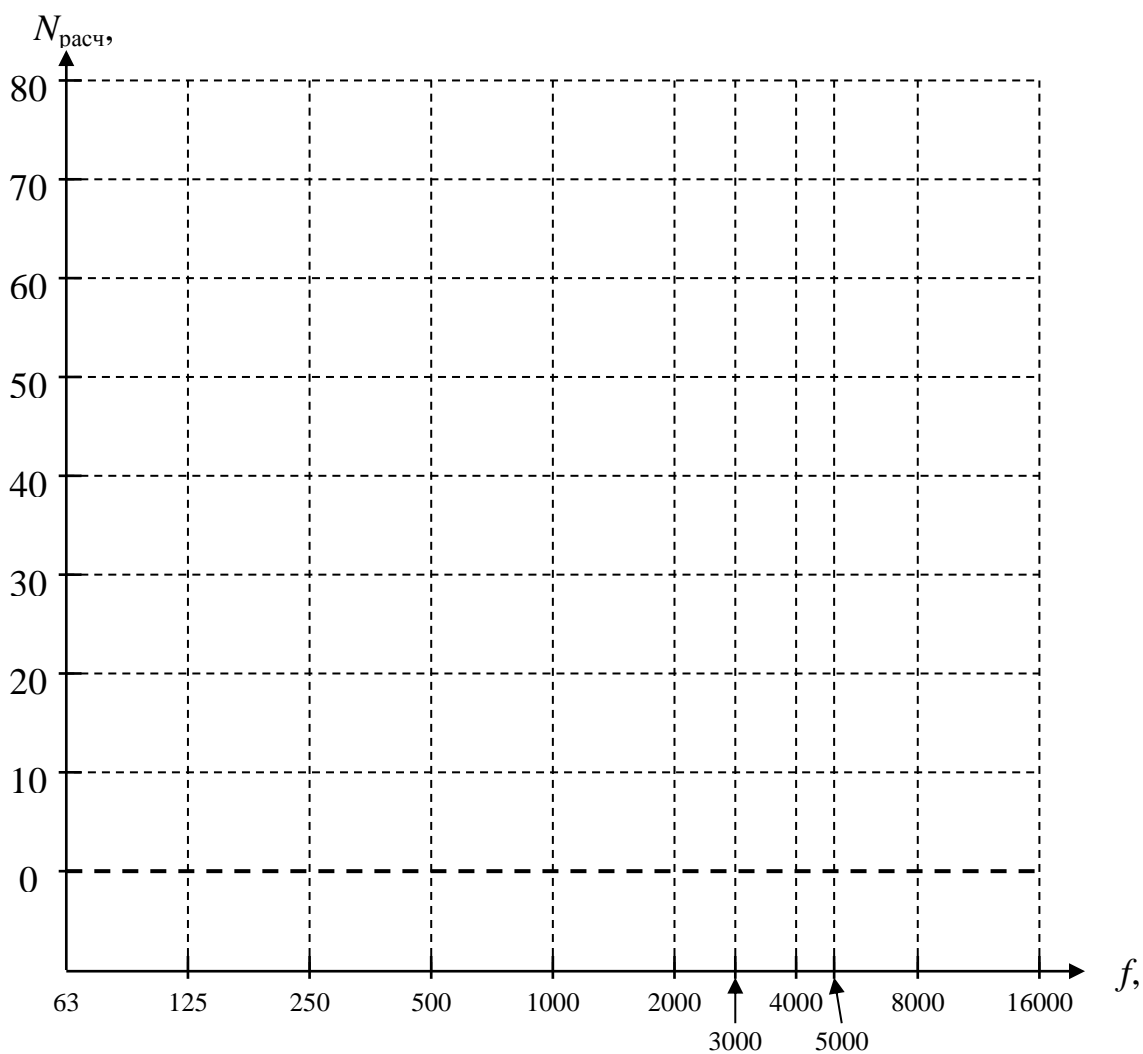
Примечание 3. Следует иметь в виду, что:

- кривая абсолютного порога слышимости, снятая через головные телефоны, будет на 5-10 дБ выше кривой, которая могла бы быть снята при прослушивании звуковых сигналов от акустической системы, размещенной в свободном поле в заглушенном помещении (т.е. в головных телефонах острота слуха у человека ниже, поскольку нет резонансных явлений, обеспечиваемых особой формой ушной раковины) и, кроме того будет иметь несколько другую форму;

- частотные характеристики у правого и левого уха, как правило, неодинаковые;

- кривая абсолютного порога слышимости, снятая для одного уха, будет примерно на 3 дБ выше кривой, снятой при прослушивании звуковых сигналов обоими ушами.

9. На основании анализа графиков сформулировать выводы.



Графики абсолютных порогов слышимости по интенсивности

Выводы

Работа выполнена « ___ » _____ 20__ г.

(подпись преподавателя)

Отчет проверен «__» _____ 20__ г.

(подпись преподавателя)

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕР-
СИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**
им. проф. М.А.Бонч-Бруевича

Кафедра РПВЭС и ЭА

Лабораторная работа №2

по курсу

**«Зрительно-слуховое восприятие аудиовизуальных
программ»**

**«Исследование дифференциальных порогов слуха по частоте с
помощью программы ADOBE AUDITION»**

Цели работы:

- исследование дифференциальных порогов слуха по частоте;
- ознакомление с программой ADOBE AUDITION.

Дифференциальные слуховые пороги

Чувствительность к изменению степени воздействия раздражителя называется *относительной* или *дифференциальной чувствительностью*. Минимальное различие между двумя раздражителями, которое вызывает чуть заметное различие ощущений, называется *дифференциальным порогом* данного ощущения.

Дифференциальные слуховые пороги характеризуют способность слуховой системы обнаруживать и оценивать разницу в значении одного из основных параметров звукового сигнала – амплитуды, частоты или длительности. В зарубежной, а также в отечественной специальной литературе минимальная разница одного из этих параметров обозначается аббревиатурой JND (Just Noticeable Difference – едва заметная разница).

Знание дифференциальных порогов весьма важно для музыкантов и звукорежиссеров. Современные процедуры компьютерной обработки звуковых сигналов позволяют вносить в него какие угодно изменения, однако при этом нужно твердо знать возможности слуховой системы человека, в том числе – пределы ее разрешающей способности. Иначе усилия, потраченные на улучшение звука, могут оказаться бесполезными – человеческий слух такого украшения просто не заметит.

Амплитудные дифференциальные слуховые пороги

Исследования амплитудных дифференциальных порогов проводились в разное время разными учеными. Для этого можно использовать два метода.

Один из методов состоит в том, что для эксперимента используются два синусоидальных сигнала одной и той же частоты, но разного уровня интенсивности (громкости). Сигналы попеременно предъявляются группе экспертов. Вначале интенсивность обоих сигналов устанавливается одинаковой, а затем уровень одного из сигналов постепенно увеличивают. Когда разница в уровнях становится таковой, что ее замечают 75% слушателей, величина этой разницы принимается за дифференциальный слуховой порог на данной частоте. Такие же измерения, выполненные на разных частотах и при разных уровнях звукового сигнала, позволяют получить общую картину зависимости дифференциальных порогов слышимости JND от частоты и общей интенсивности звукового сигнала.

Другой метод состоит в том, что используется всего один сигнал, но этот сигнал модулируется по амплитуде. Как показали предвари-

тельные эксперименты, наибольшей чувствительностью к изменению амплитуды несущего сигнала человеческий слух обладает на частоте 4 Гц, поэтому в качестве модулирующей частоты в этом эксперименте используется частота 4 Гц. Глубина модуляции вначале устанавливается равной нулю, а затем постепенно увеличивается до тех пор, пока не становится заметной для 75% слушателей. Подобные эксперименты, проведенные на разных частотах несущего колебания и при разных уровнях громкости, показали, что полученные результаты примерно совпадают с результатами, полученными с использованием первого метода.

Закономерности, установленные в ходе экспериментов, можно выразить в виде соответствующих диаграмм. К примеру, из рис. 1 видно, что дифференциальные пороги по амплитуде существенно зависят от частоты звукового сигнала: наименьшие значения получают в области средних частот (500 – 4000 Гц), а на низких и высоких частотах они возрастают: например, при общем уровне 60 дБ JND для частоты 1000 Гц составляет 0,8 дБ, для частоты 8 кГц – 1,0 дБ, а для частоты 200 Гц – 1,3 дБ. Кроме того, они сильно зависят от общего уровня сигнала: чем он выше, тем меньшую разницу между сигналами можно заметить: JND на частоте 1000 Гц при общем уровне 40 дБ составляет 1,25 дБ, при уровне 80 дБ – 0,6 дБ. Это хорошо заметно на рис. 3, где показана зависимость порогового значения коэффициента модуляции $M_{гр}$ тонального сигнала с частотой 1 кГц, модулируемого по амплитуде частотой 4 Гц, от уровня несущей частоты N .

Из рис. 2 видно, что при увеличении уровня несущего колебания чувствительность слуха к изменению амплитуды возрастает. При уровне звукового давления несущей $N = 20$ дБ коэффициент минимально заметной модуляции $M_{гр} = 10\%$. При повышении уровня звукового давления N до 100 дБ коэффициент $M_{гр}$ снижается до 1%, т.е. в 10 раз, что говорит о том, что при высоких уровнях звукового давления чувствительность слуха к изменению амплитуды тонального сигнала значительно обостряется.

Однако чистые тоны в повседневной жизни встречаются редко. Большинство звуков представляют собой созвучия и шумоподобные сигналы. Звуки, получаемые с помощью музыкальных инструментов, и гласные звуки речи – это созвучия, состоящие из основного колебания и целого ряда обертонов. Согласные и в особенности шипящие звуки по спектру ближе к шумам. Поэтому особенности слуха при восприятии шумовых сигналов также представляют значительный интерес для специалистов в области звукотехники.

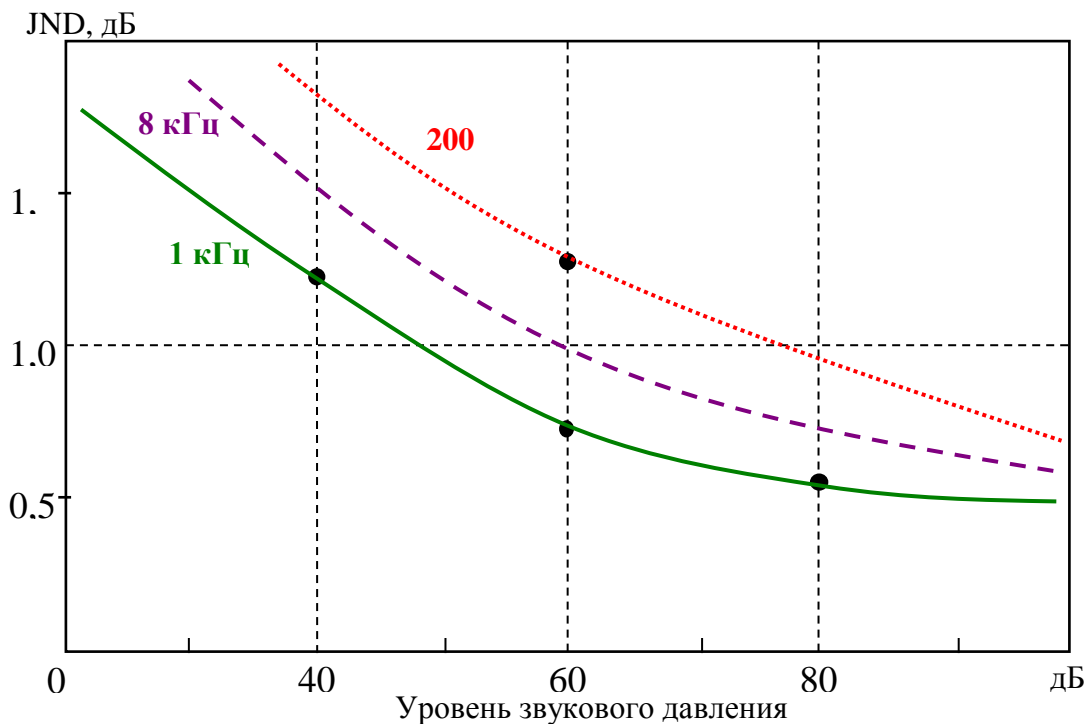


Рис. 1. Зависимость дифференциальных амплитудных слуховых порогов на частотах 200 Гц, 1 кГц и 8 кГц от уровня сигнала

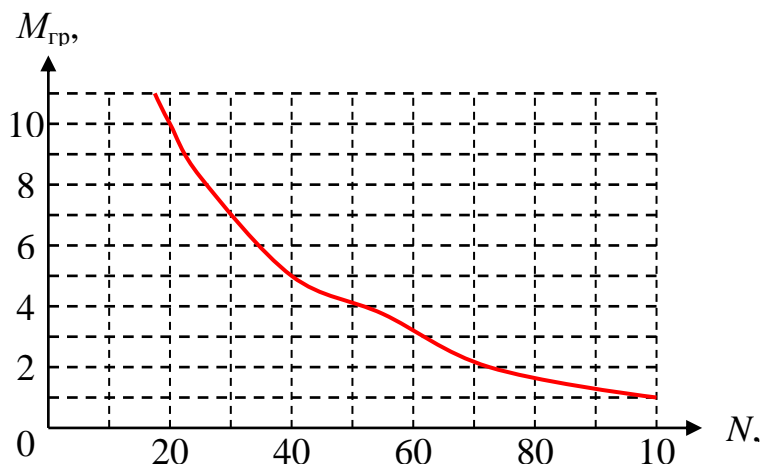


Рис. 2. Зависимость коэффициента $M_{гр}$ минимально заметной амплитудной модуляции тонального сигнала с частотой 1 кГц от его уровня N

Эксперименты показали, что восприятие амплитудной модуляции шумовых сигналов существенно отличается от восприятия амплитудной модуляции тональных сигналов.

На рис. 3 показана зависимость коэффициента $M_{гр}$ минимально заметной амплитудной модуляции при увеличении уровня N модули-

руемого сигнала в качестве которого использовался широкополосный белый шум. Модуляции осуществлялась синусоидальным сигналом с частотой 4 Гц (сплошная линия) и прямоугольными импульсами со скважностью 2, следующими с той же частотой. Видно, что здесь коэффициент $M_{гр}$ уменьшается с повышением уровня модулируемого шума только до значения уровня примерно 30 дБ, а затем, при его дальнейшем увеличении, остается практически неизменным и составляет в случае модуляции синусоидальным сигналом приблизительно 4%, а в случае модуляции прямоугольными импульсами – около 2,5%. Как и в эксперименте с модуляцией тонального сигнала, наилучшей чувствительностью к модуляции белого шума слух обладает при частоте модулирующего сигнала 4 Гц.

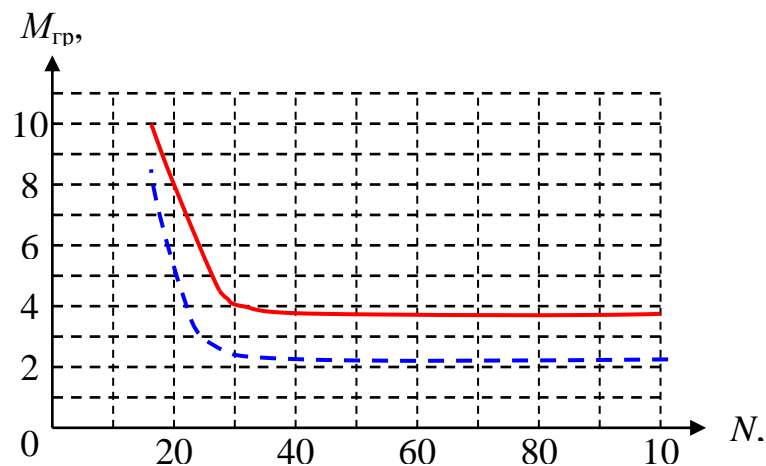


Рис. 3. Зависимость коэффициента $M_{гр}$ минимально заметной амплитудной модуляции белого шума синусоидальным модулирующим сигналом с частотой 4 кГц (сплошная линия) и прямоугольными импульсами с той же частотой (пунктирная линия) от уровня шума N

Частотные дифференциальные слуховые пороги

Частотная разрешающая способность слуха может быть определена с помощью методов, сходных с методами, которые использовались для определения разрешающей способности слуха по амплитуде.

В первом случае слушателям предъявляются два синусоидальных сигнала одинаковой интенсивности и одинаковой частоты, а затем просят изменять частоту одного из сигналов до тех пор, пока они не почувствуют разницу в высоте этих двух сигналов.

Во втором случае разрешающая способность по частоте определяется путем прослушивания частотно-модулированных сигналов - по

минимально заметным на слух изменениям частоты. В качестве частоты модуляции здесь также используется частота 4 Гц.

Установлено, что частотная разрешающая способность человеческого слуха, также как и амплитудная, зависит и от частоты, и от интенсивности звукового сигнала.

На рис. 4 показано, как изменяется разрешающая способность слуха по частоте в зависимости от того к какому диапазону частот принадлежит рассматриваемый сигнал. По оси абсцисс здесь отложена частота f исследуемого сигнала, по оси ординат – минимально различимое слухом изменение частоты этого сигнала $\Delta f/f$, где Δf - девиация частоты, т.е. отклонение ее от исходного значения в ту или иную сторону. Следует отметить, что при частотной модуляции тоном частота синусоидального сигнала изменяется от величины $f - \Delta f$ до величины $f + \Delta f$, т.е. амплитуда изменений частоты исследуемого сигнала составит $2\Delta f$. На рис. 4 представлено четыре кривые, соответствующие разным значениям уровня исследуемого тона.

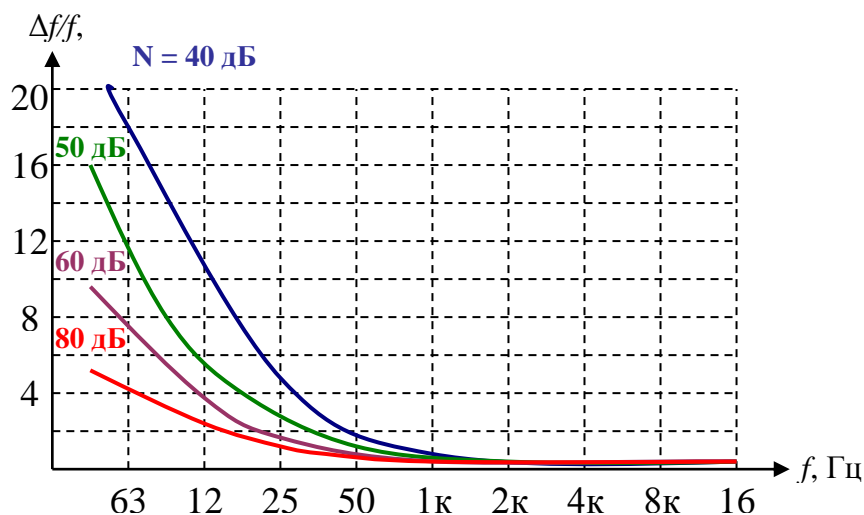


Рис. 4. Зависимость минимально различимой слухом разницы по частоте $\Delta f/f$ от частоты f звукового сигнала при различных значениях его уровня (40, 50, 60 и 80 дБ)

Из рис. 4 видно, что в области низких частот – примерно до частоты 1 кГц, разрешающая способность слуха по частоте определяется почти одинаковым абсолютным значением изменения частоты тона, которое равно приблизительно 2-3 Гц, хотя в ряде случаев отмечалось значение всего в 1 Гц. В области более высоких частот (от 1 кГц и выше) отмечается постоянство относительного значения $\Delta f/f$, которое составляет здесь величину примерно равную 0,004 (дробь Вебера). Например, на частоте 5 кГц $\Delta f = 20$ Гц, на частоте 10 кГц $\Delta f = 40$ Гц и т.д.

Из рис. 4 также видно, что уменьшение уровня рассматриваемого тона приводит к увеличению дифференциальных частотных порогов, т.е. чем тише звук, тем труднее его отличить по частоте от других звуков.

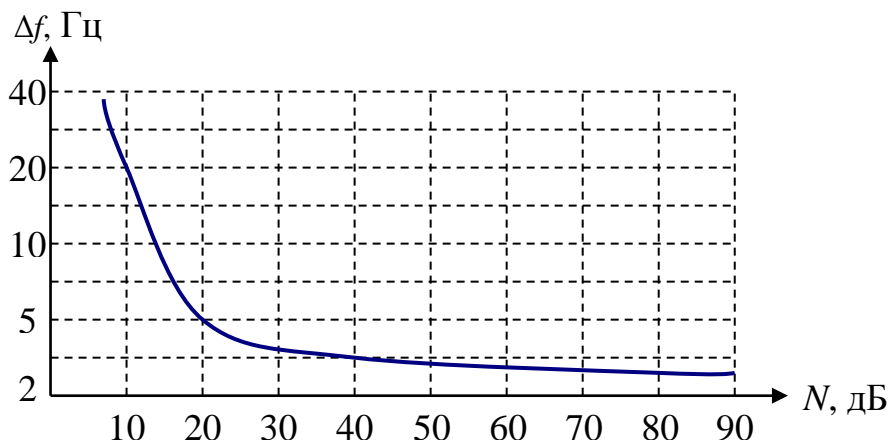


Рис. 5. Зависимость минимально различимой слухом девиации частоты Δf тонального звукового сигнала 1 кГц от его уровня N

На рис. 5 показана зависимость порогового значения девиации частоты Δf от уровня N исследуемого звукового сигнала в качестве которого использован тональный сигнал с частотой 1 кГц. Очевидно, что для сигналов малой интенсивности ($N < 30$ дБ) пороговое значение Δf велико: чем слабее сигнал – тем хуже разрешающая способность слуха по частоте. Однако при увеличении уровня сигнала более 30 дБ пороговое значение девиации стабилизируется и в дальнейшем остается практически постоянным и равным примерно 2-3 Гц.

Временные дифференциальные пороги

Органы чувств человека, и слух в том числе, являются по своей природе инерционными. Даже для приблизительной оценки характера и меры ощущения требуется некоторое время. Для точной же количественной оценки того или иного параметра ощущения времени требуется гораздо больше. Кроме того, разные параметры требуют для точной оценки разного времени. Поэтому исследования разрешающей способности слуховой системы во временной области проводятся в нескольких направлениях.

1) Анализ ***минимального времени, в течение которого слух способен различить два сигнала***. Исследования в данной области показали, что минимальный интервал времени между двумя следующими друг за другом тональными сигналами, необходимый для того чтобы слух распознал их именно как два сигнала, а не один, составля-

ет около 2 мс. Оказалось, что эта величина почти не зависит ни от частоты тонального сигнала, ни от его интенсивности. Однако для определения какой из двух сигналов поступает первым, а какой вторым (если это сигналы двух разных частот), необходимо время порядка 20 мс. Для определения высоты тона в области низких частот требуется примерно 60 мс, в области высоких частот – примерно 15 мс.

2) Анализ **дифференциальной чувствительности** к изменению длительности звукового сигнала. Здесь в ходе эксперимента испытуемым предлагалась последовательность групп из двух сигналов каждая – один сигнал из каждой пары имел длительности T мс, а другой несколько большую - $(T+\Delta T)$ мс. Сигналы подавались в случайном порядке и эксперт должен был определить, какой из двух сигналов в паре имеет большую длительность. Значения ΔT при этом изменялись от одной пары к другой в случайном порядке. Наименьшую разницу, правильно определенную экспертами в 75% случаев, принимали за JND (дифференциальный порог) для длительности (ΔT).

В результате эксперимента оказалось, что по мере уменьшения общей длительности T воздействия сигнала ΔT также начинает уменьшаться, т.е. чем короче сигналы, тем меньшую разницу между ними способен заметить человеческий слух. Например, при длительности T сигнала вблизи 1 с пороговое значение ΔT составляет примерно 50 мс, а при длительности T сигнала 0,5 мс ΔT также составляет 0,5 мс. Дифференциальная временная чувствительность $\Delta T/T$ (дробь Вебера) здесь константой не является, а изменяется вместе с изменением длительности T таким образом, что при $T = 0,5-1$ мс она равна 1, при $T = 10$ мс - примерно 0,3 и при $T = 50-500$ мс – приблизительно 0,1. Полученные результаты при этом почти не зависят ни от высоты, ни от интенсивности звукового сигнала.

3) Анализ чувствительности слуха к изменению **времени установления (атаки) или спада звукового сигнала**. Время установления и время спада звука являются чрезвычайно важными характеристиками звучания различных музыкальных инструментов, поскольку изменяя эти параметры, можно до неузнаваемости изменить тембр звучания инструмента. Исследования показали, что дифференциальный порог для времени установления (как и для времени спада) составляет: для частот ниже 1 кГц – 1 мс, для частот 1-10 кГц – 0,5 мс. Если изменения времени атаки и спада звукового сигнала меньше, то для слуха они оказываются незаметными. В реальных условиях эти пороги могут оказаться даже большими, поскольку каждая отдельно взятая нота, как правило, в той или иной степени маскируется одновременно исполняемыми соседними звуками.

4) Анализ *дифференциальной слуховой чувствительности к фазовым искажениям*. Долгое время считалось, что человеческий слух не способен ощущать текущие изменения фазовых соотношений между спектральными компонентами в сложных звуковых сигналах. В этом вопросе ученые всего мира полагались на авторитетное утверждение Германа фон Гельмгольца – немецкого физика, физиолога и психолога, сделанное им еще в середине XIX века. Однако уже в 70-х годах XX века, когда в исследованиях стали использовать компьютерную технику, выяснилось, что этот постулат не соответствует действительности. Изменения фазовых соотношений между спектральными составляющими сигнала способны очень существенно изменять его временную структуру, что, в свою очередь, выражается в изменении тембра звучания и четкости определения высоты музыкального сигнала. Выяснилось, что более всего слух чувствителен к скорости изменения фазы, т.е. к групповому времени задержки (ГВЗ):

$$\tau_{gp} = -d\varphi(\omega) / d\omega.$$

Установлено, что минимальный дифференциальный слуховой порог для искажений ГВЗ наблюдается на частоте 2 кГц и составляет ~ 1 мс (рис. 6).

Знание дифференциальных слуховых порогов важно для проектирования звуковоспроизводящей и акустической аппаратуры, поскольку позволяет устанавливать искажения ниже порогов заметности человеческим слухом.

Следует, однако, заметить, что полной ясности в проблеме установления порогов чувствительности слуха к изменению временной структуры звукового сигнала пока еще нет. Поэтому исследования этого вопроса с использованием современных компьютерных технологий продолжают во многих научных учреждениях различных стран мира.

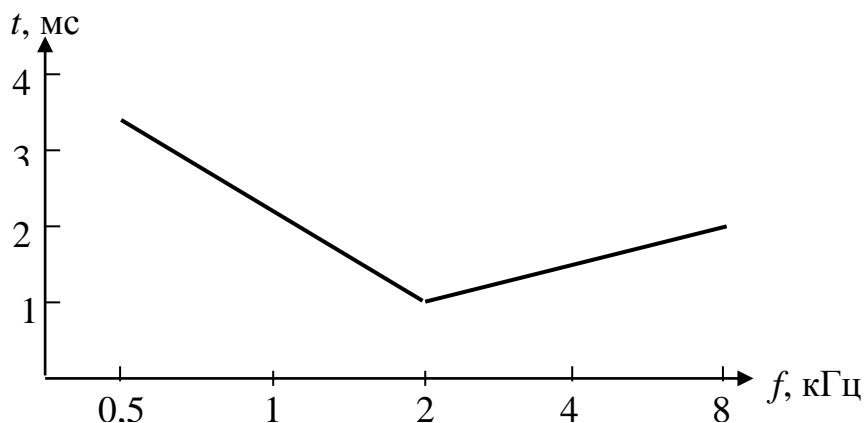


Рис. 6. Пороги слуховой чувствительности для ГВЗ

Контрольные вопросы

1. Что такое относительная (дифференциальная) чувствительность?
2. Каким образом оценивают дифференциальные слуховые пороги, используя два сигнала?
3. Каким образом оценивают дифференциальные слуховые пороги, используя один сигнал?
4. Как зависит дифференциальная чувствительность слуха по частоте от частоты?
5. Как зависит дифференциальная чувствительность слуха по частоте от амплитуды?

Литература

1. В.А. Никамин. Зрительно-слуховое восприятие аудиовизуальных программ.: Учебник / ГОУВПО СПбГУТ. – СПб, 2014.
2. Акустика: Учебник для вузов / Ш.Я. Вахитов, Ю.А. Ковалгин, А.А. Фадеев, Ю.П. Щевьев; под ред. Ю.А. Ковалгина. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009.
3. И.А. Алдошина, Р. Приттс. Музыкальная акустика. Учебник. – СПб.: Композитор. – СПб, 2006.

Порядок выполнения работы

Открыть программу **Adobe Audition**, щелкнув дважды по ее ярлыку.

1. Задать параметры звукового файла. Для этого:
 - В меню **Файл (File)** щелкнуть **Новый (New)** и в открывшемся окне установить:
 - **Частоту дискретизации (Sample Rate)** – 48кГц;
 - **Каналы (Channels)** – Моно;
 - **Разрешение (Resolution)** – 32 бит.Нажать кнопку **ОК**.
2. В меню **Создать (Generate)** щелкнуть **Тоны (Tones)** и в открывшемся окне (рис. 7) установить:
 - **Основную частоту (Base Frequency)** – $f = 1000$ Гц;
 - **Форму сигнала (Flavor)** – синус (**Sine**);
 - **Длительность (Duration)** – 4 секунды.
 - **дВ Громкость (dB Volume)** – (-10...-20) дБ;

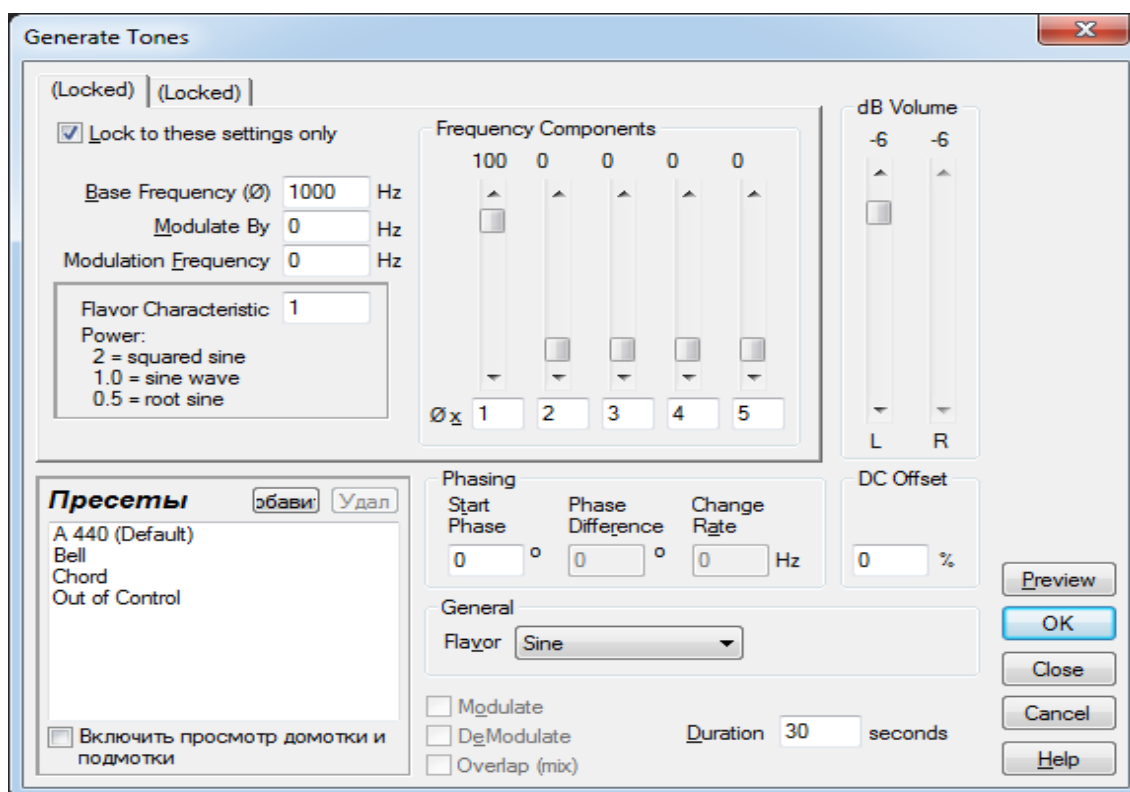


Рис. 7. Окно установки параметров сигнала программы Adobe Audition

3. Нажать кнопку *Preview* и прослушать полученный сигнал. Перемещая ручку регулятора *dB Громкость (dB Volume)* найти такое ее положение, которое будет соответствовать порогу слышимости звукового сигнала на этой частоте. Для того чтобы облегчить дальнейшие вычисления, лучше поступить следующим образом. Установить ручку регулятора *dB Громкость (dB Volume)* в какое-либо фиксированное положение вблизи обнаруженного порога слышимости с круглым значением уровня громкости – например, – 70 дБ, и с помощью регулятора громкости телефонов или компьютера добиться, чтобы это значение соответствовало порогу слышимости, т.е. задать некоторую точку отсчета в 0 дБ (N_0). Отметить это значение громкости N_0 в дБ в табл. 1.

4. В окне *Modulation Frequency* установить значение модулирующей частоты $\Omega = 4$ Гц.

5. Установить уровень громкости звукового сигнала N на 40 дБ больше относительно N_0 с помощью регулятора *dB Громкость (dB Volume)*. Если $N_0 = -70$ дБ, то $N = -30$ дБ.

6. В окне *Modulate By* установить значение девиации $\Delta\omega = 1$ Гц. Нажав кнопку *Preview* прослушать полученный сигнал. Если модуляция на слух не ощущается, то повторить п.5, увеличивая $\Delta\omega = 2$ Гц, 3

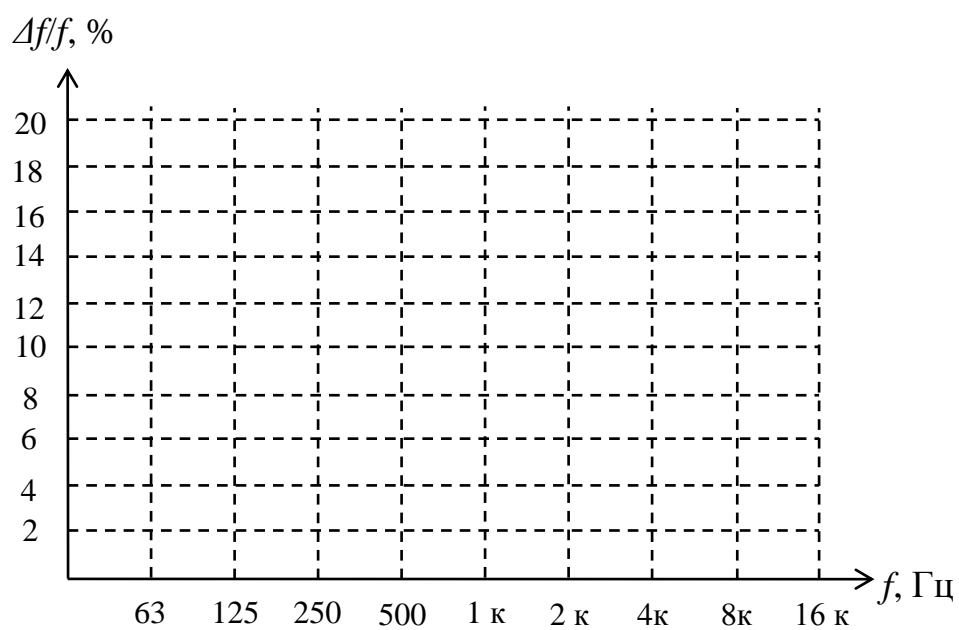
Гц и т.д., до тех пор, пока модуляция не будет слышна отчетливо. В соответствующую ячейку таблицы 1 занести значение $\Delta f = 2\Delta\omega$.

7. Повторить пп. 5 и 6 для $N = 50$ дБ и $N = 60$ дБ, заносая полученные результаты в соответствующие ячейки таблиц 2 и 3.

8. Повторить пп. 2-7 для всех частот, указанных в таблицах 1-3.

9. Рассчитать значения $\Delta f/f$ в % и занести их в соответствующие ячейки таблиц 1-3.

10. Построить графики зависимости $\Delta f/f$ от частоты для разных уровней громкости N



Графики зависимости минимально различимой на слух разницы по частоте $\Delta f/f$ от частоты звукового сигнала f при различных значениях уровней громкости

Выводы

Работа выполнена «___» _____ 20__ г.

(подпись преподавателя)

Отчет проверен «___» _____ 20__ г.

(подпись преподавателя)

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М.А.Бонч-Бруевича**

Кафедра РПВЭС и ЭА

Лабораторная работа №3

по курсу

**«Зрительно-слуховое восприятие аудиовизуальных
программ»**

**«Исследование шумов и их маскирующего действия
с помощью программы ADOBE AUDITION»**

Цели работы:

- исследование процедур маскирования шумовыми сигналами;
- ознакомление с программой ADOBE AUDITION.

1. Шумы и их особенности

Звуки, спектр которых непрерывен на всей оси частот, называются шумами. В зависимости от характера огибающей спектральной плотности мощности шумы обозначают условными наименованиями, чаще всего связанными с определенными цветами: белый, розовый, красный, синий, серый и т.д. Кроме того, в акустике рассматривается также производный от белого и розового шумов - равномерно маскирующий шум, о свойствах и назначении которого можно догадаться из его названия.

В зависимости от ширины спектра, шум может быть *широкополосным, узкополосным, октавным, полуоктавным, третьоктавным* и т.д.

Как следует из вышесказанного, важнейшей характеристикой шума является зависимость уровня спектральной плотности мощности шума $N_{ш}$ от частоты.

Белый шум. У данного шума спектральная плотность мощности $N_{БШ}$ равномерно распределена на всей оси частот. Например, узкополосный белый шум с полосой 20 Гц в диапазоне между 20 и 40 Гц будет иметь такую же мощность, что и шум в полосе между 3000 и 3020 Гц. Название свое получил по аналогии с белым светом, который содержит в себе электромагнитные волны всего видимого диапазона. В природе примером источника белого шума может служить шум близкого водопада. В природе и технике «чисто» белый шум (то есть шум, имеющий одинаковую мощность на всех частотах диапазона) не встречается, поскольку такой сигнал должен бы обладать бесконечной мощностью. Тем не менее, белым можно считать любой шум, спектральная плотность мощности которого примерно одинакова в некотором заданном диапазоне частот.

В линейной шкале частот график белого шума имеет вид прямой линии, параллельной оси частот (рис. 1, а). В октавной же шкале частот график спектра мощности этого шума приобретает вид наклонной прямой линии с подъемом в область высоких частот с крутизной 3 дБ/октаву (рис. 1, б).

Белый шум используется в электронной музыке как в качестве одного из инструментов музыкальной аранжировки, так и в качестве входного сигнала для специальных фильтров, с помощью которых формируются шумовые сигналы других типов. Широко применяется в синтезаторах в качестве исходного сигнала для формирования звучания различных музыкальных инструментов, чаще всего - ударных, таких как, к примеру, тарелки.

Розовый шум. Это шум, спектральная плотность которого обратно пропорциональна частоте ($\sim 1/f$), т.е. в линейной шкале частот он является равномерно убывающим с крутизной 3 дБ/октаву (рис. 1, а). Например, мощность сигнала в полосе частот между 40 и 50 Гц равна мощности в полосе между 4000 и 5000 Гц. В октавной шкале спектральная плотность мощности этого шума $N_{PШ}$ не зависит от частоты и ее график имеет вид прямой линии, параллельной оси частот (рис. 1, б). Розовым шум называется из-за того, что спектральная плотность мощности у него выше на низких частотах, которые в диапазоне видимого света соответствуют оттенкам красного. В природе примером источника розового шума также как и белого может служить шум водопада, но удаленного на достаточно большое расстояние. Поскольку высокие частоты при удалении от источника поглощаются гораздо сильнее чем низкие, то и уровень их с увеличением расстояния будет уменьшаться. Другой пример розового шума - звук пролетающего вертолёта.

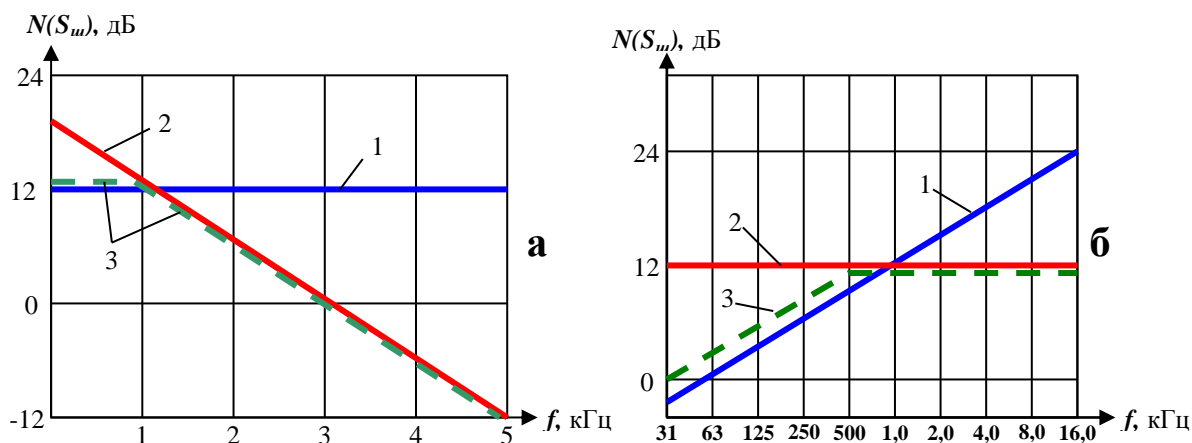


Рис. 1. Частотные зависимости спектральной плотности мощности шумов различного вида **а** – в линейной шкале частот; **б** – в октавной (логарифмической) шкале частот; 1 – белый шум; 2 – розовый шум; 3 – равномерно маскирующий шум

Розовый шум. Это шум, спектральная плотность которого обратно пропорциональна частоте ($\sim 1/f$), т.е. в линейной шкале частот он является равномерно убывающим с крутизной 3 дБ/октаву (рис. 1, а). Например, мощность сигнала в полосе частот между 40 и 50 Гц равна мощности в полосе между 4000 и 5000 Гц. В октавной шкале спектральная плотность мощности этого шума $N_{PШ}$ не зависит от частоты и ее график имеет вид прямой линии, параллельной оси частот (рис. 1, б). Розовым шум называется из-за того, что спектральная плотность мощности у него выше на низких частотах, которые в диапазоне ви-

димого света соответствуют оттенкам красного. В природе примером источника розового шума также как и белого может служить шум водопада, но удаленного на достаточно большое расстояние. Поскольку высокие частоты при удалении от источника поглощаются гораздо сильнее чем низкие, то и уровень их с увеличением расстояния будет уменьшаться. Другой пример розового шума - звук пролетающего вертолѐта.

Равномерно маскирующий шум. До частоты 500 Гц этот шум обладает свойствами белого шума, а выше – свойствами розового (рис. 1). Свое название получил из-за того что обладает одинаковым маскирующим действием во всем диапазоне слышимых частот. Такой шум в природе не существует и формируется искусственно из белого шума с помощью специального фильтра, который на частотах выше 500 Гц имеет спад АЧХ с крутизной 3 дБ на октаву. Подобная форма характеристики объясняется размерами так называемых критических полос слуха (поскольку слух реагирует не на общую мощность шума, а на мощность шума в этих самых критических полосах), которые до 500 Гц имеют примерно одинаковую ширину, но с увеличением частоты свыше 500 Гц их размеры начинают постепенно увеличиваться.

Броуновский (красный, коричневый) шум. Броуновским этот вид шума назван по той причине, что может быть получен с помощью алгоритма, моделирующего броуновское движение частиц воздуха. Спектральная плотность этого шума пропорциональна $1/f^2$, т.е. с увеличением частоты спектральная плотность мощности его падает еще быстрее, чем у розового шума – с крутизной 6 дБ на октаву (рис. 2). Поэтому его еще называют красным шумом. Название «коричневый» - это результат неправильной трактовки англоязычного термина «броуновское движение» (а, следовательно, и броуновского шума), которое произошло от фамилии шотландского ученого Роберта Броуна (Brown), а вовсе не от английского названия коричневого цвета (brown). На слух красный шум воспринимается более приглушѐнным в сравнении с белым и даже розовым шумом.

Синий (голубой) шум. Синий шум – это вид шумового сигнала, у которого спектральная плотность мощности с ростом частоты увеличивается на 3 дБ на октаву (рис. 3). Спектр синего шума представляет собой зеркальное отражение спектра розового шума. Поскольку мощность его на высоких частотах увеличивается, то на слух он воспринимается как более резкий в сравнении с белым. Синий шум может быть получен путем дифференцирования розового шума.

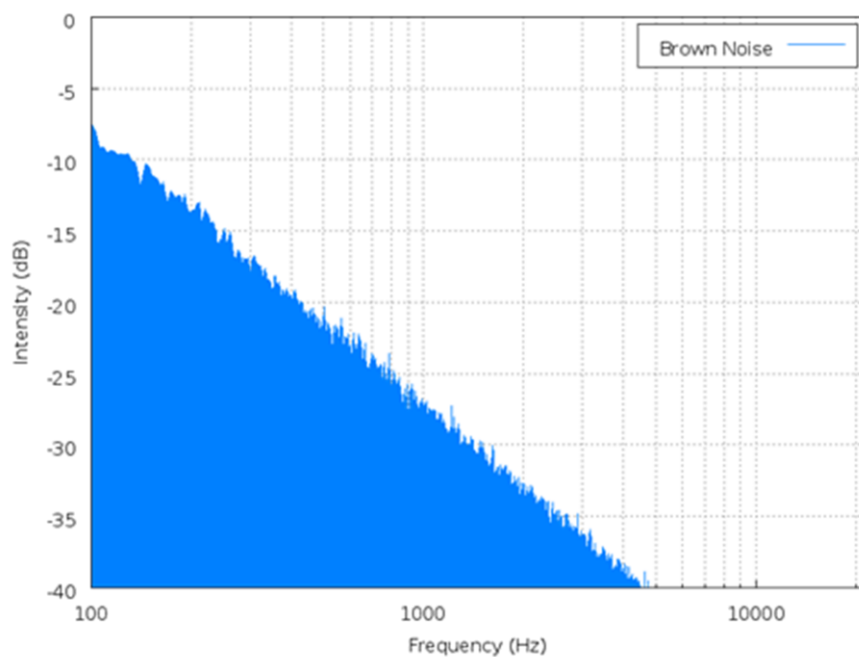


Рис. 2. Броуновский (красный, коричневый) шум

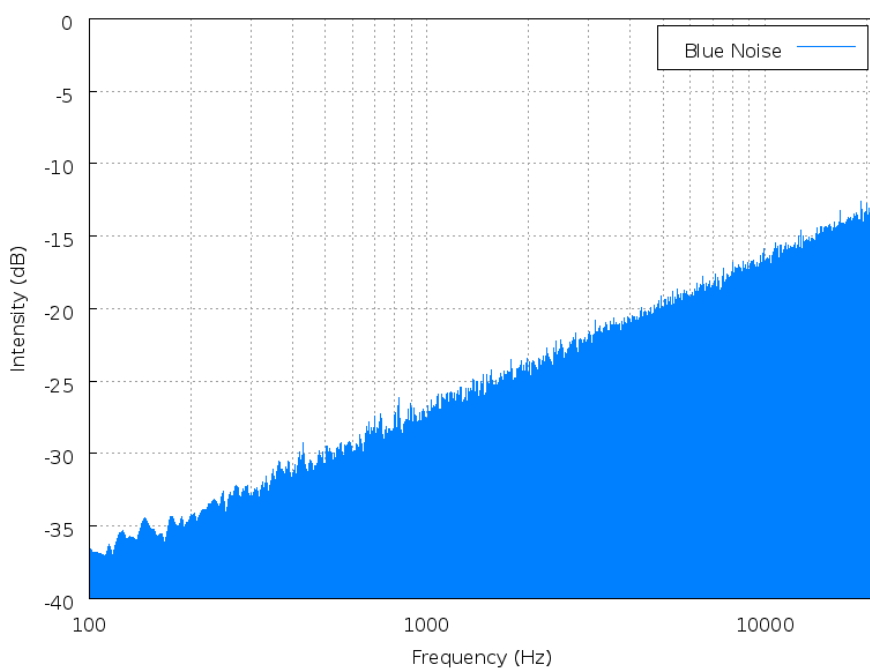


Рис. 3. Спектр синего шума

Фиолетовый шум. Фиолетовый шум – это усиленный вариант синего шума - спектральная плотность мощности его пропорциональная квадрату частоты и с ее ростом увеличивается на 6 дБ на октаву

(рис. 4). Спектр фиолетового шума представляет собой зеркальное отражение спектра красного шума.

Серый шум. Термином «серый» обозначается шумовой сигнал, который имеет одинаковую субъективную громкость для человеческого слуха во всём диапазоне воспринимаемых частот. Спектр серого шума можно получить путем сложения спектров броуновского и фиолетового шумов. В первом приближении он повторяет одну из изофон (рис. 5), поэтому человеческий слух субъективно воспринимает его равногромким по всему диапазону слышимых частот.

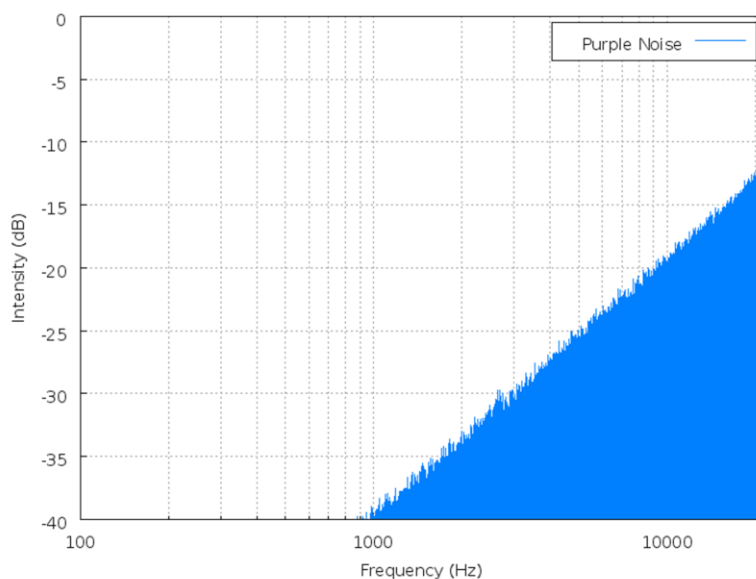


Рис. 4. Спектр фиолетового шума

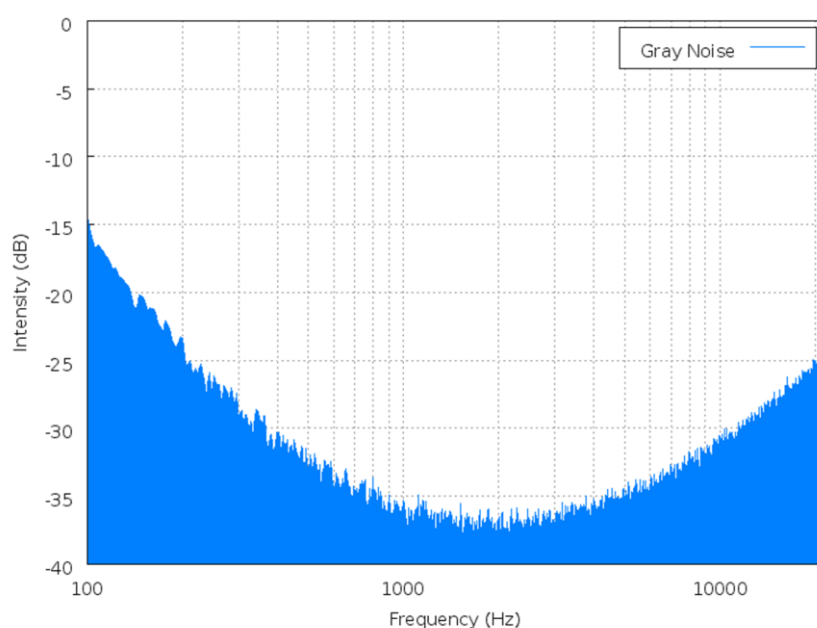


Рис. 5. Спектр серого шума

2. Маскировка звуковых сигналов

В реальной жизни нам довольно редко приходится иметь дело со звуками, которые возникают и существуют в полной тишине, т.е. при отсутствии других звуков. Чаще всего приходится прослушивать сразу несколько одновременно существующих звуковых сигналов, из которых интересен для нас может оказаться всего один – остальные будут только мешать восприятию желаемого. А если посторонние звуки являются достаточно громкими, то нужный звук можно и не расслышать вовсе. Явление, когда при воздействии на органы слуха двух звуков один из них может не прослушиваться на фоне другого, называется *маскировкой*.

Маскировка возникает в результате взаимодействия звуковых сигналов, следствием которого является изменение порога слышимости одного из них (*маскируемого*) в присутствии другого (*маскирующего* или *маскера*).

Существует несколько видов маскировки, которые проявляются в зависимости от способа взаимодействия маскера и маскируемого сигнала и от характера каждого из них:

- одновременная или моноауральная маскировка, проявляющаяся в тех случаях, когда оба сигнала существуют в одно и то же время;
- временная маскировка, которая проявляется при неодновременном существовании маскера и маскируемого сигнала либо когда маскер кратковременно накладывается на маскируемый звук;
- центральная или бинауральная маскировка, проявляющаяся, когда маскер и маскируемый сигнал воздействуют на разные уши слушателя;
- бинауральная демаскировка, позволяющая на фоне общего маскирующего шума расслышать интересующий слушателя источник звука.

Одновременная маскировка

При одновременной маскировке маскирующее действие звуков различного характера определяется путем вычисления разницы между порогом слышимости исследуемого звука в полной тишине (абсолютным порогом слышимости данного звука) и порогом слышимости того же звука при воздействии маскера (испытательного тона или узкополосного шума). Эта разница называется *степенью маскировки*.

Степень (или уровень) маскировки dN – это разница в децибелах между уровнем N_M порога слышимости тона заданной частоты в

присутствии маскера и уровнем N_0 порога слышимости этого же тона в полной тишине:

$$dN = N_M - N_0.$$

Значения порогов слышимости в присутствии маскера определяются путем добавления к основному (испытательному) тону дополнительного тона заданной частоты и интенсивности или узкополосного шума с известными параметрами.

Маскировка тонов шумовыми сигналами

Для того чтобы получить наиболее достоверную информацию о свойствах маскировки было бы естественным использовать в качестве маскируемого сигнала и маскера тональные сигналы. Однако при этом возникает ряд сложностей. Прежде всего, это биения, которые возникают когда маскер и маскируемый сигнал близки по частоте (разница между ними менее 15 Гц) и мешают правильно оценивать эффект маскировки. Кроме того, известно, что человеческий слух обладает существенной нелинейностью (подробнее об этом будет сказано ниже). Поэтому при воздействии на орган слуха достаточно громкого синусоидального звукового сигнала с частотой f_0 в процессе его обработки в слуховом аппарате возникают гармоники с частотами $2f_0$, $3f_0$ и т.д. Например, если прослушивать звуковой сигнал с частотой 500 Гц, то вместе с ним можно услышать и призвуки с частотой 1000 Гц, 1500 Гц и т.д. Поскольку путем объективных измерений параметров подводимого к акустическому излучателю сигнала можно легко убедиться, что в спектре воздействующего тона никаких посторонних гармоник нет, то они получили название «субъективных», т.е. возникающих в результате исключительно субъективного восприятия звуковых сигналов.

Подобные явления затрудняют точную количественную оценку эффектов маскировки. Поэтому во время проведения экспериментов по исследованию явлений маскировки в качестве маскера чаще всего используют шумовые сигналы. При этом узкополосный шум используют вместо тональных сигналов, в других не менее содержательных исследованиях - широкополосный белый шум.

Эксперименты, проведенные с использованием в качестве маскера узкополосного шума, в целом подтвердили результаты, которые были получены ранее в ходе исследований с применением чистых тонов.

Наиболее интересным для практики является случай, когда в качестве маскирующего сигнала используется широкополосный белый шум. На рис. 6 приведены результаты исследований эффектов маскировки для этого случая. Сплошные кривые на графике соответствуют порогам слышимости при воздействии маскирующего шума различной интенсивности. Видно, что степень маскировки зависит здесь от интенсивности маскирующего шума почти прямо пропорционально: при увеличении интенсивности шума на 10 дБ порог слышимости также возрастает на 10 дБ.

Из рис. 6 также видно, что до частоты примерно 500 Гц кривые маскирования практически параллельны оси абсцисс, т.е. почти горизонтальны. На более высоких частотах пороги слышимости маскируемого сигнала начинают возрастать, причем с одной и той же крутизной. Измерения показали, что при увеличении частоты на октаву пороги слышимости во всех случаях возрастают примерно на 3 дБ.

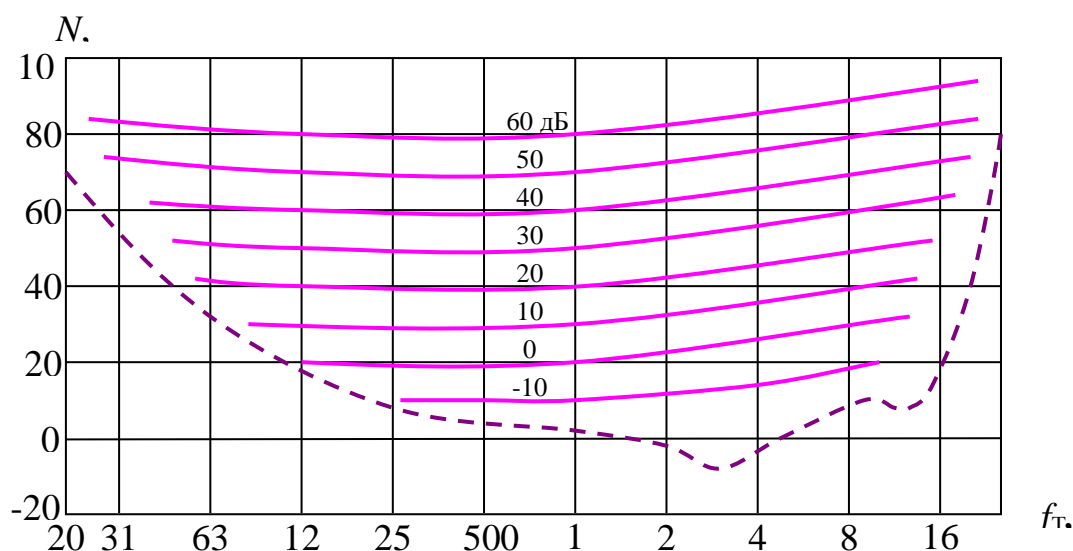


Рис. 6. Зависимость уровня маскировки от уровня интенсивности белого шума

Объяснить этот феномен несложно, если вспомнить о существовании критических полос слуха. Известно, что слух оценивает не общую мощность шума во всей полосе слышимых частот, а его мощность в критических полосах. Следовательно, каждый отдельно взятый тон маскируется шумом той критической полосы, в которой он находится. До частоты 500 Гц ширина критических полос слуха примерно одинакова и равна 100 Гц. Значит, общая мощность шума в этих полосах также примерно одинакова, поскольку спектральная плотность мощности белого шума, как известно, постоянна во всей полосе частот. Поэтому одинаковым будет и его маскирующее дей-

ствие. Выше 500 Гц критические полосы слуха начинают увеличиваться в размерах. Значит, интегральная мощность шума в них будет возрастать, а, следовательно, будет возрастать и его маскирующее действие.

Свойство широкополосных шумов оказывать максимальное маскирующее действие на тональные сигналы только в пределах критических полос лежит в основе алгоритмов сжатия звуковых сигналов по стандартам MPEG, Dolby, DTS и пр. Вся полоса слышимых частот здесь, прежде всего, разбивается на ряд субполос, примерно соответствующих критическим полосам слуха. После чего внутри каждой субполосы производится анализ присутствующих в ней спектральных компонент и на основе этого анализа рассчитывается степень маскировки частотных составляющих кодируемого звукового сигнала.

В исследовательской практике иногда необходим шум с таким распределением спектральной плотности мощности, чтобы он равномерно маскировал все частотные составляющие звукового сигнала. Для формирования такого шума требуется, чтобы до частоты 500 Гц его спектральная плотность мощности была одинакова и совпадала со спектральной плотностью мощности белого шума, а на частотах выше 500 Гц уменьшалась с крутизной 3 дБ на октаву – как у розового шума. Такой шум называется равномерно маскирующим.

Контрольные вопросы

1. Что такое шумовой сигнал, и какими характерными особенностями он обладает?
2. Что такое белый (розовый, равномерно маскирующий, броуновский, синий, фиолетовый, серый) шум и какими характерными особенностями он обладает?
3. Какими бывают шумы в зависимости от ширины спектра?
4. Какое явление называется маскировкой?
5. Какие виды маскировки вы знаете?
6. Что такое степень маскировки?
7. Почему во время проведения экспериментов по исследованию явлений маскировки в качестве маскера вместо тонального сигнала чаще всего используют узкополосный шумовой сигнал?
8. Почему броуновский шум эффективнее белого маскирует высокочастотные тональные сигналы?

Литература

1. В.А. Никамин. Зрительно-слуховое восприятие аудиовизуальных программ.: Учебник / ГОУВПО СПбГУТ. – СПб, 2014.
2. Акустика: Учебник для вузов / Ш.Я. Вахитов, Ю.А. Ковалгин, А.А. Фадеев, Ю.П. Щевьев; под ред. Ю.А. Ковалгина. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009.
3. И.А. Алдошина, Р. Приттс. Музыкальная акустика. Учебник. – СПб.: Композитор. – СПб, 2006.

Порядок выполнения работы

Открыть программу **Adobe Audition**, щелкнув дважды по ее ярлыку.

1. Задать параметры шумового файла. Для этого в режиме «**Правка**» (рис. 7):

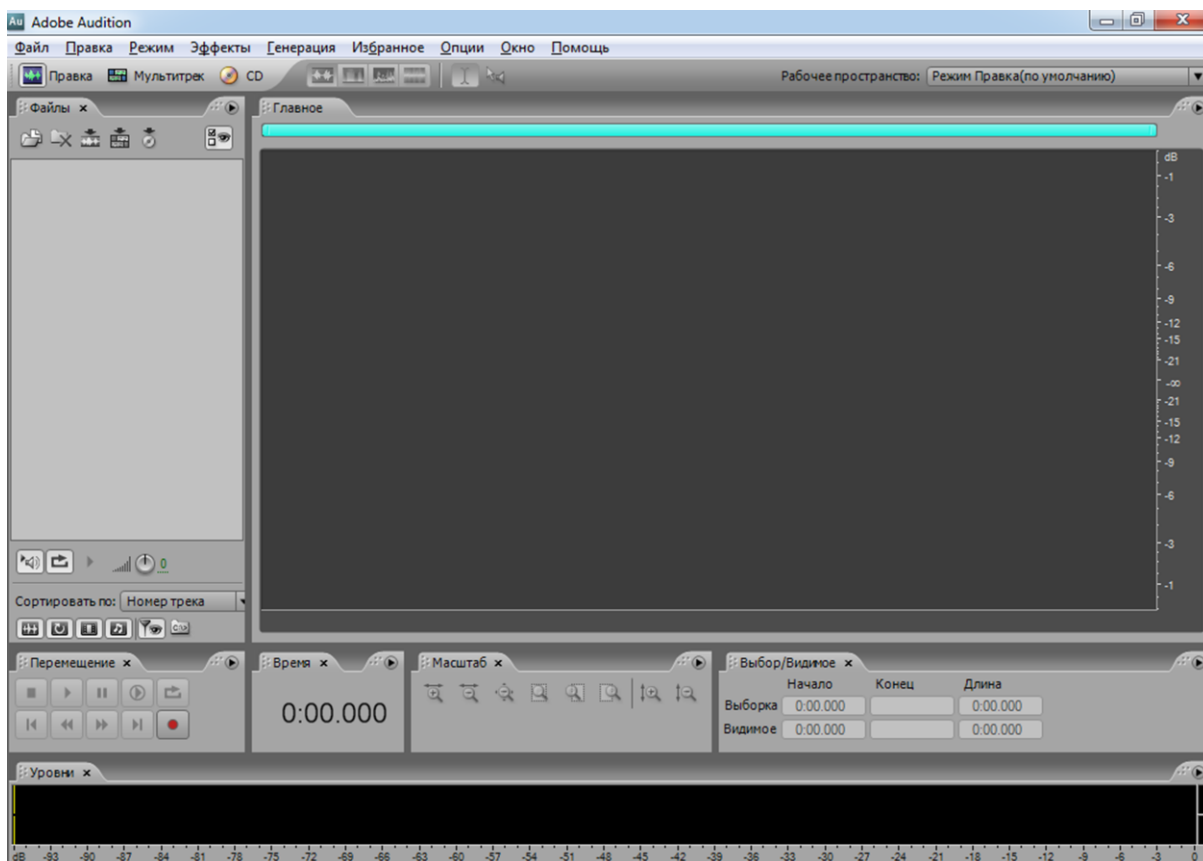


Рис. 7. Окно программы *Adobe Audition* в режиме «**Правка**» (когда нажата кнопка «Правка» в левом верхнем углу под надписью **Файл**)

- В меню **Файл (File)** щелкнуть **Новый (New)** и в открывшемся окне установить:

- **Частоту дискретизации (Sample Rate)** – 48кГц;
- **Каналы (Channels)** – Моно;
- **Разрешение (Resolution)** – 32 бит.

Нажать кнопку **OK**.

- В меню **Создать (Generate)** щелкнуть **Шум (Noise)** и в открывшемся окне установить:

- **Тип шума (Color)** – **Белый (White)**
- **Тип сигнала (Style)** – **Моно (Mono)**
- **Интенсивность (Intensity)** – 40 дБ (крайнее правое положение движка)

- **Длительность (Duration)** – 30 сек (seconds)

Нажать кнопку **OK**.

- Щелкнуть по названию созданного файла (или по самой сигналограмме) правой кнопкой мыши и в выпадающем меню нажать «**Вставить в мультитрек**» (рис. 8).

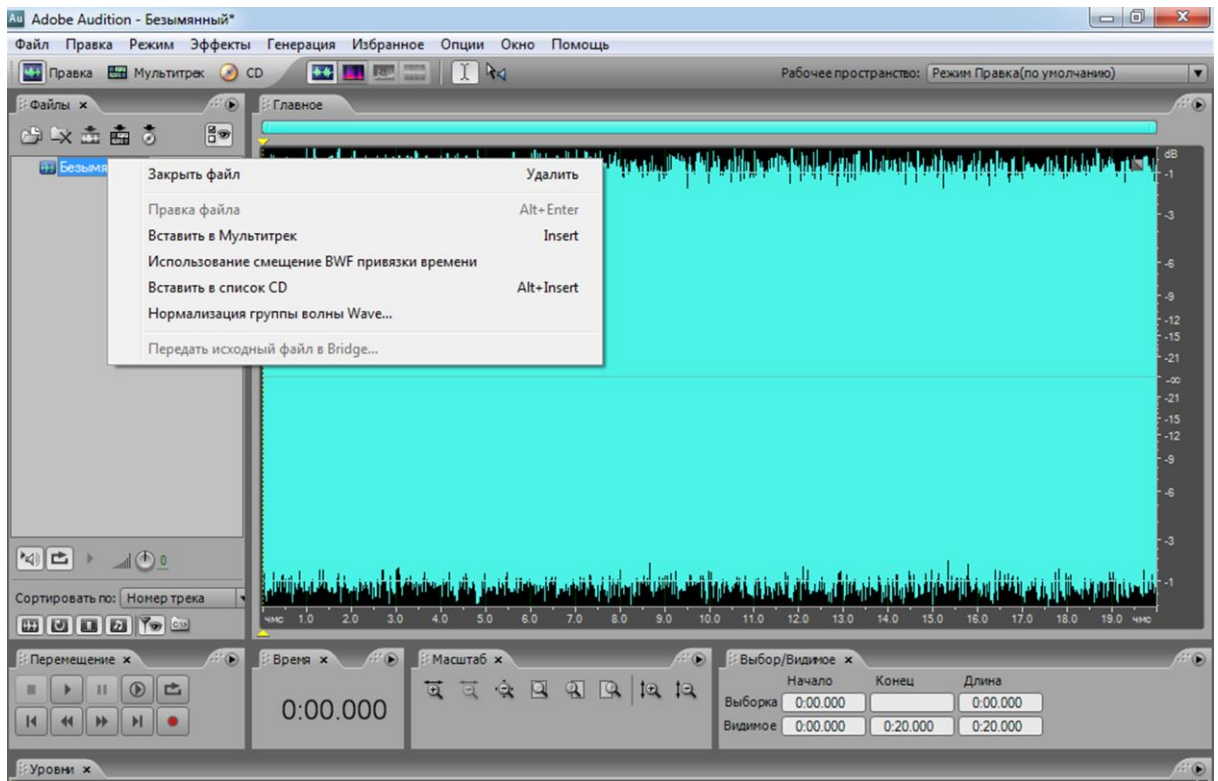


Рис. 8. Окно программы Adobe Audition с выпадающим меню, где нужно щелкнуть «Вставить в мультитрек»

2. Задать параметры звукового файла. Для этого в режиме «**Правка**» (рис. 7):

- В меню **Файл (File)** щелкнуть **Новый (New)** и в открывшемся окне установить:

- **Частоту дискретизации (Sample Rate)** – 48кГц;

- **Каналы (Channels)** – Моно;

- **Разрешение (Resolution)** – 32 бит.

Нажать кнопку **OK**.

- В меню **Создать (Generate)** щелкнуть **Тоны (Tones)** и в открывшемся окне установить:

- **Основную частоту (Base Frequency)** – $f = 2000$ Гц;

- **Форму сигнала (Flavor)** – синус (**Sine**);

- **Длительность (Duration)** – 30 секунд.

Определить порог слышимости на этой частоте. Для этого, нажав кнопку предварительного прослушивания **Preview** и перемещая ручку

регулятора громкости *dB Volume* добиться того, что звук перестанет быть слышимым. Для более точного определения границы слышимости следует периодически включать и выключать звук кнопкой *Preview*. Если звук будет слышен даже в крайнем нижнем положении ручки регулятора громкости *dB Volume* (-80 дБ), то убавить громкость либо регулятором громкости головных телефонов, либо регулятором громкости самого компьютера и больше этот регулятор не трогать. Занести значение порога слышимости в графу N_0 табл. 1.

После этого установить регулятор громкости (*dB Volume*) в самое верхнее положение 0 дБ и нажать кнопку *OK*.

Щелкнуть по названию созданного файла (или по самой сигналограмме) правой кнопкой мыши и в выпадающем меню нажать «*Вставить в мультитрек*» (рис. 8).

3. Перейти в режим *Мультитрек*, щелкнув надпись «Мультитрек» рядом (правее) надписи «Правка». Откроется окно, показанное на рис. 9, где будут видны два созданных файла – шумовой и звуковой. Прослушать эти два файла вместе, нажав кнопку «*Воспроизведение*» («▶») в левом нижнем углу окна. Каждый из файлов можно прослушать отдельно, нажимая кнопки слева от сигналограммы – на панели регулировок прослушиваемой дорожки - «С» (режим «Соло» - будет звучать только та дорожка, где эта кнопка нажата) или «Г» (режим «Глушение» - данная дорожка будет заглушена и будет звучать другая дорожка (или дорожки)). Для остановки прослушивания нужно нажать кнопку «■». Для возврата курсора в исходное положение – кнопку «■».

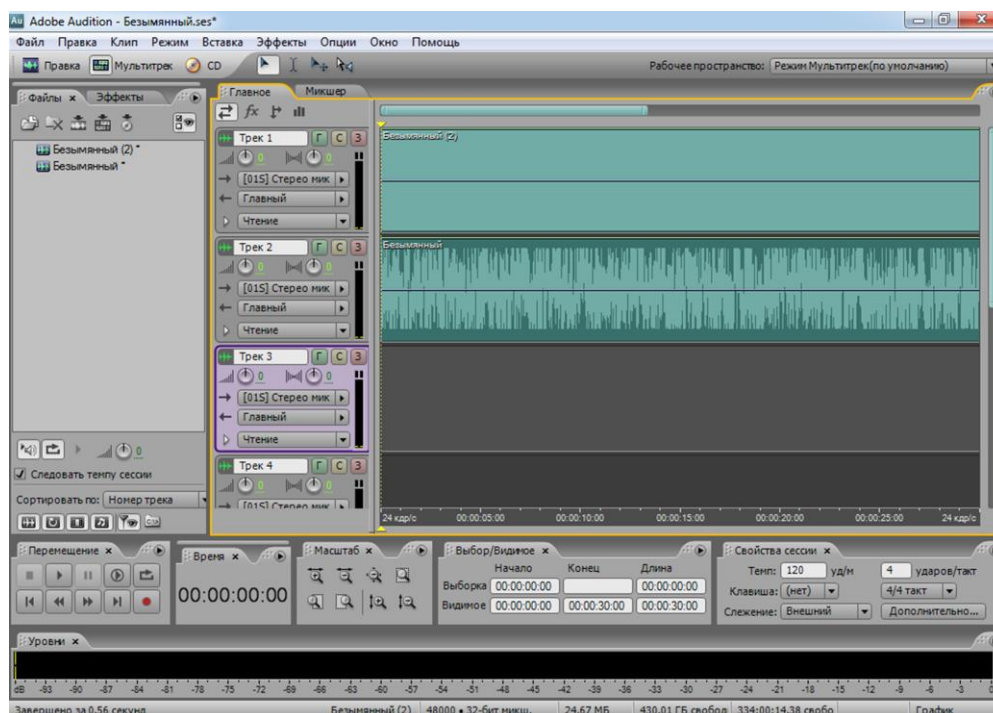


Рис. 9. Окно программы Adobe Audition в режиме «Мультитрек» с двумя созданными файлами на дорожках

4. Нажать кнопку «Воспроизведение» («▶») и, вращая ручку регулировки уровня синусоидального сигнала (на рис. 3 эта ручка находится на панели регулировок дорожки 1 под надписью «Трек 1») влево (в сторону уменьшения) добиться, чтобы сигнал перестал различаться на фоне шума. Отметить в графе N_c Табл. 1 отчета значение уровня сигнала, которое будет при этом присутствовать рядом с ручкой регулировки (например, -20 дБ).

5. Удалить файл с синусоидальным сигналом. Для этого щелкнуть его название на вкладке **Файлы** (с левой стороны окна Adobe Audition) правой кнопкой, на выпадающем меню щелкнуть **Закреть файл**, и в появившемся окне нажать **Да**.

6. Повторить пп.2-5 для всех частот, указанных в таблице 1 отчета.

7. Рассчитать уровни маскирования dN (нижняя строка табл. 1 отчета) для этих частот по формуле $dN = N_c - N_0$ и построить график зависимости этой величины от частоты.

8. Повторить пп. 1-7 для розового шума и для броуновского (коричневого) шума.

9. Сделать анализ полученных данных и изложить его результаты в Выводах.

Работа выполнена «___» _____ 20__ г.

(подпись преподавателя)

Отчет проверен «___» _____ 20__ г.

(подпись преподавателя)