

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

Кафедра РПВЭС и ЭА

Лабораторная работа №5 ВПМС

по курсу

«Волновые процессы в материальных средах»

**«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 (интенсивности, частоты, длительности и др.), при котором у человека возника-

ет 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 $p_1 = 2 \times 10^{-5}$ 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 чувствительности 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.

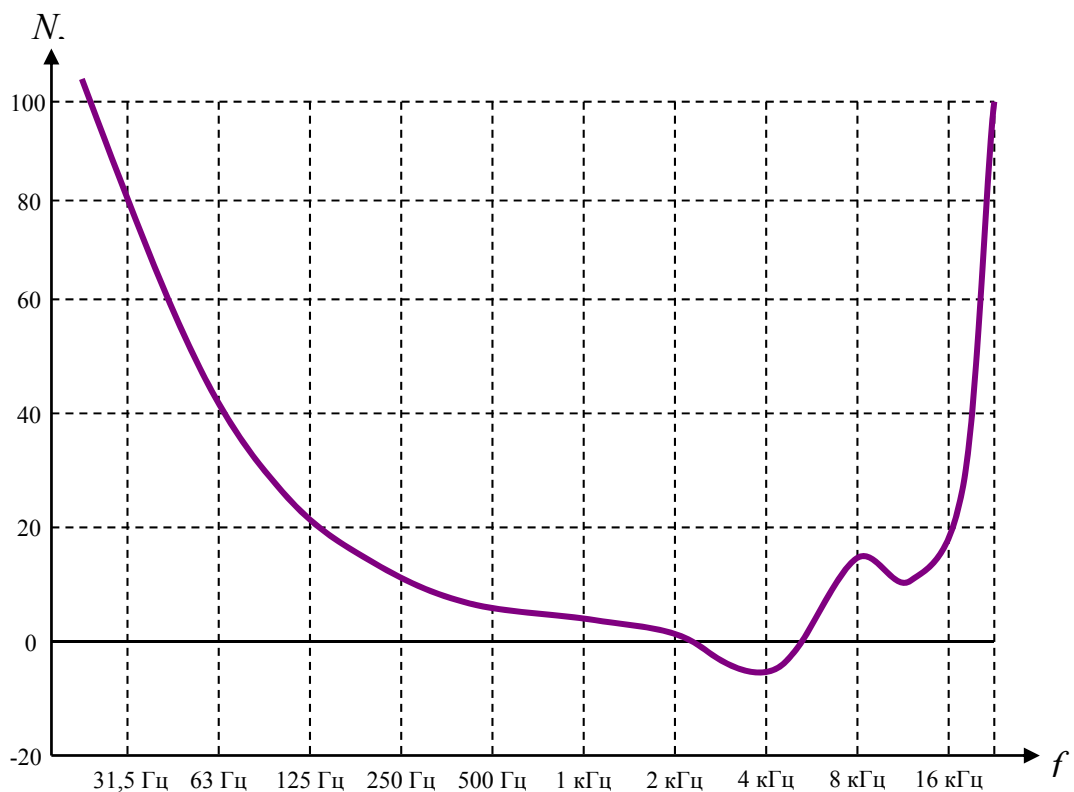


Рис. 1. Кривая абсолютного порога слышимости, построенная по результатам измерений в условиях свободного поля

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;

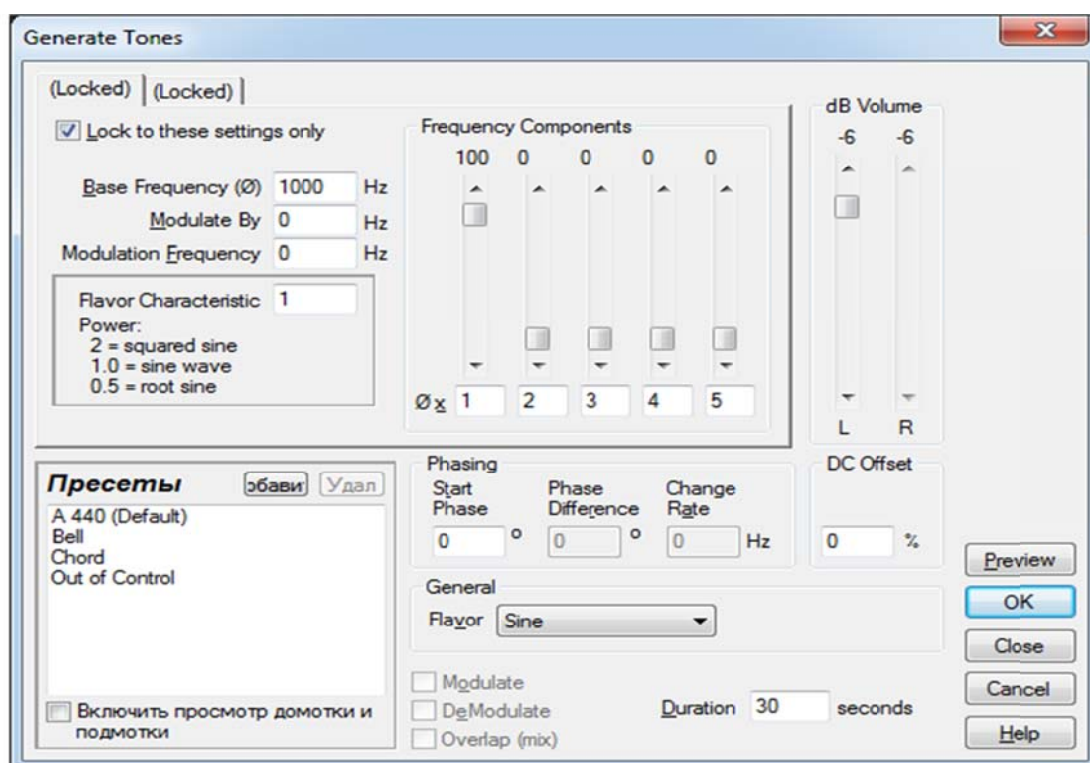


Рис. 2. Окно установки параметров сигнала программы Adobe Audi-

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, уменьшите 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 обеих 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 обеих 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.

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

Кафедра РПВЭС и ЭА

Студент _____

Группа _____

ОТЧЕТ

по лабораторной работе №5

по курсу

«Волновые процессы в материальных средах»

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

Табл. 1

Пороги слышимости для левого уха

Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	3000	4000	5000	8000	16000
$N_{\text{изм}}$, дБ											
$N_{\text{расч}}$, дБ											

Табл. 2

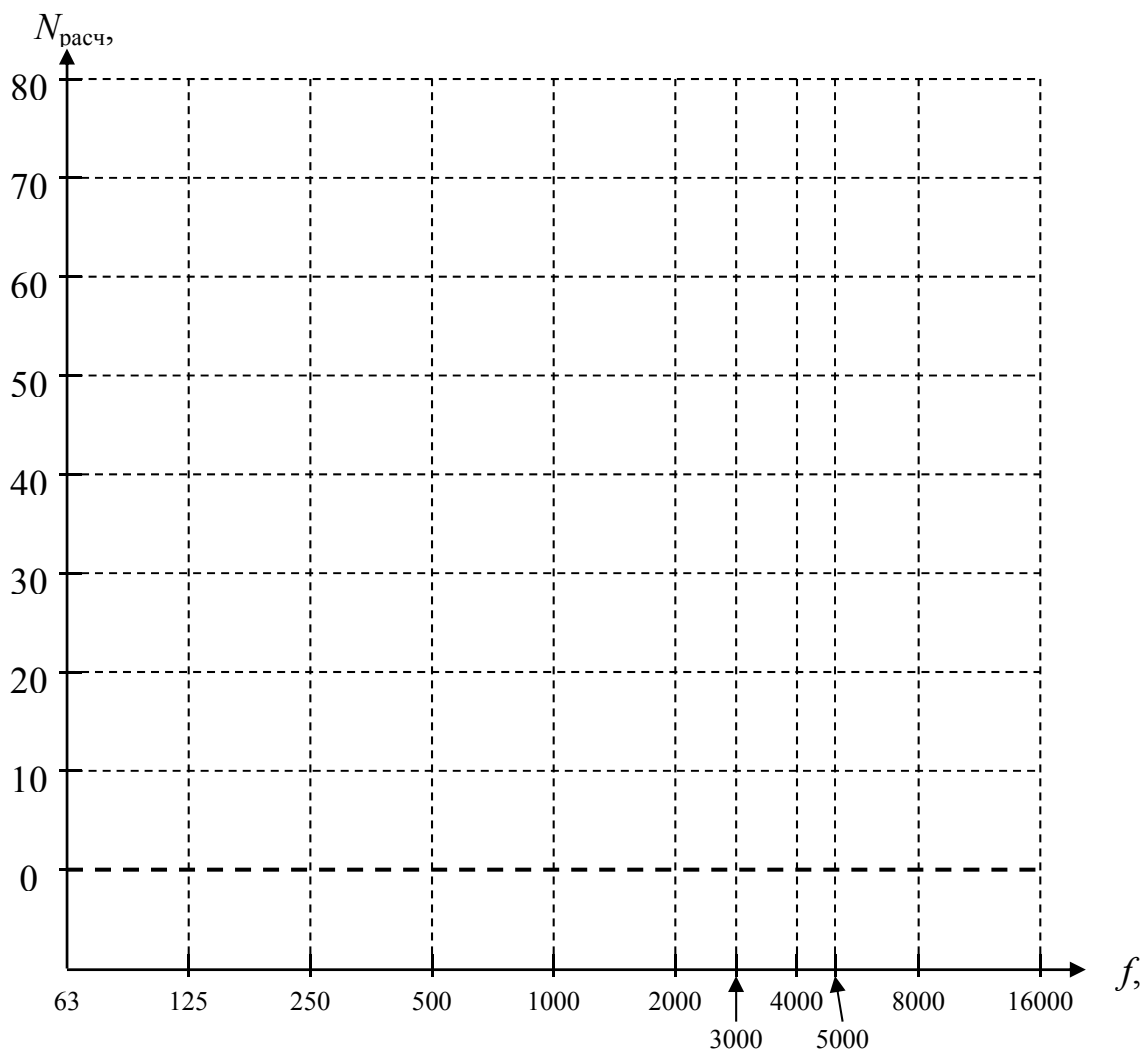
Пороги слышимости для правого уха

Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	3000	4000	5000	8000	16000
$N_{\text{изм}}$, дБ											
$N_{\text{расч}}$, дБ											

Табл. 3

Пороги слышимости для обеих ушей

Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	3000	4000	5000	8000	16000
$N_{изм}$, дБ											
$N_{расч}$, дБ											



Графики абсолютных порогов слышимости по интенсивности

Выводы

Работа выполнена «__» _____ 20__ г.

(подпись преподавателя)

Отчет проверен «__» _____ 20__ г.

(подпись преподавателя)