

# ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ



Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

УТВЕРЖДАЮ

Зав. каф. промышленной и медицинской  
электроники, проф., д.т.н.

\_\_\_\_\_ Г.С. Евтушенко

## ИССЛЕДОВАНИЕ СЛУХОВОГО АНАЛИЗАТОРА МЕТОДОМ АУДИОМЕТРИИ

Методические указания к выполнению лабораторной работы  
по дисциплине «Биофизика» для студентов, направления  
200300 «Биотехническая инженерия»

УДК 577.3.

Исследование слухового анализатора методом аудиометрии: Метод. указ. к выполн. лаб. раб. по дисциплине «Биофизика» для студентов, направления 200300 «Биотехническая инженерия». – Томск: Изд. ТПУ, 2007. – 10 с.

Составители: А.А. Аристов

Рецензент доцент, к.м.н. К.С. Бразовский

Методические указания рассмотрены и рекомендованы  
к изданию методическим семинаром кафедры  
промышленной и медицинской электроники 23 декабря 2007 г.

Зав. кафедрой  
профессор, д.т.н.

\_\_\_\_\_ Г.С. Евтушенко

Лабораторная работа

**ИССЛЕДОВАНИЕ СЛУХОВОГО АНАЛИЗАТОРА  
МЕТОДОМ АУДИОМЕТРИИ**

Цель занятия:

Освоить метод тональной аудиометрии. Исследовать состояние слухового анализатора.

Оборудование:

Комплекс диагностический КТД-8

**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

Распространенный до настоящего времени в клинике метод исследования слуха с помощью набора камертонов не позволяет выявлять все поражения слухового аппарата. В то же время нарушения слуха - частый симптом различных неврологических и ЛОР-заболеваний.

Адекватным раздражителем органа слуха является звук, т.е. механические колебания воздушной среды. Диапазон воспринимаемых человеческим ухом колебаний ограничен как по частоте, так и по силе (частота от 16 до 20000 Гц, сила от 0 до 120 дБ). К очень низким и очень высоким звукам ухо человека мало чувствительно. В связи с этим аудиометрические исследования обычно проводят в диапазоне частот от 125 до 8000-10 000 Гц.

Звуки делятся на тоны, шумы и звуковые удары. Различают простые и сложные тоны. *Простой тон* это звуковое колебание, происходящее по гармоническому закону. Основной его характеристикой является *частота*. Если тон представляет собой негармоническое колебание, то он называется *сложным*. Простой тон дает камертон, сложный — музыкальные инструменты или голосовой аппарат. Сложный тон может быть разложен на простые, при этом тон наименьшей частоты называется *основным*, а остальные — *обертонами*. Набор частот с указанием их интенсивности называется *акустическим спектром сложного тона*. Спектр сложного тона — *линейчатый* (рис. 1)

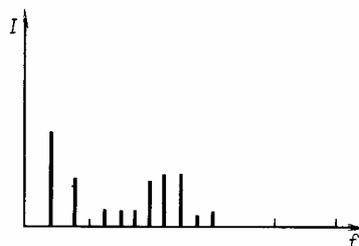


Рис. 1

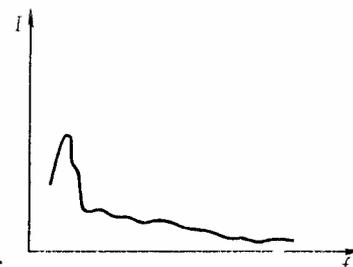


Рис. 2

*Шум* — звук, отличающийся сложной временной зависимостью. Шум можно рассматривать как сочетание беспорядочно меняющихся сложных тонов. Спектр шума сплошной (рис. 2). *Звуковой удар* — это кратковременное звуковое воздействие: хлопок, взрыв и т. п.

Силу звука принято выражать не в абсолютных единицах, а в некоторых условных по отношению к нулевому уровню. За нулевой уровень отсчета принята сила звука на пороге слышимости, полученная экспериментально на большом количестве людей с нормальными слухом в возрасте от 16-18 до 32 лет (0,0002 бара при частоте 1000 Гц). Для измерения интенсивности звука применяют логарифмическую шкалу — *шкалу уровня интенсивности*.  
*Уровень интенсивности*

$$L = 10 \lg (I/I_0)$$

где  $I$  - сила данного звука;  $I_0$  - сила звука нулевого уровня.

Уровень интенсивности выражают в белах (Б) или децибелах (дБ). За 1 Б принимают уровень интенсивности звука, интенсивность которого в 10 раз больше  $I_0$ .

Субъективной физиологической характеристикой звука является *громкость  $E$* , которая характеризует уровень слухового ощущения. В основе измерения громкости лежит психофизический закон Вебера—Фехнера. Согласно ему при увеличении раздражения в геометрической прогрессии ощущение этого раздражения возрастает в арифметической прогрессии. Из этого закона следует, что громкость звука пропорциональна логарифму отношения интенсивностей звуков:

$$E = k \lg (I/I_0)$$

где:  $E$  — интенсивность звука;  $I_0$  — интенсивность звука на пороге слышимости,  $k$  — некоторый коэффициент пропорциональности, зависящий от частоты и интенсивности. Громкость выражают в фонах (фон). Принято считать, что на частоте 1 кГц шкалы громкости и уровня интенсивности совпадают. В этом случае  $k = 1$

$$1 \text{ фон} = 1 \text{ дБ} = 10 \lg (I/I_0)$$

Для нахождения соответствия между громкостью и интенсивностью звука на разных частотах пользуются *кривыми равной громкости* (рис 3). Их строят на основании средних данных, полученных у людей с нормальным слухом. Нижняя кривая соответствует интенсивностям самых слабых слышимых звуков — порогу слышимости. Для всех частот этой кривой  $E = 0$ , для частоты 1 кГц интенсивность звука  $I_0 = 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>. Верхняя кривая соответствует *порогу болевого ощущения*.

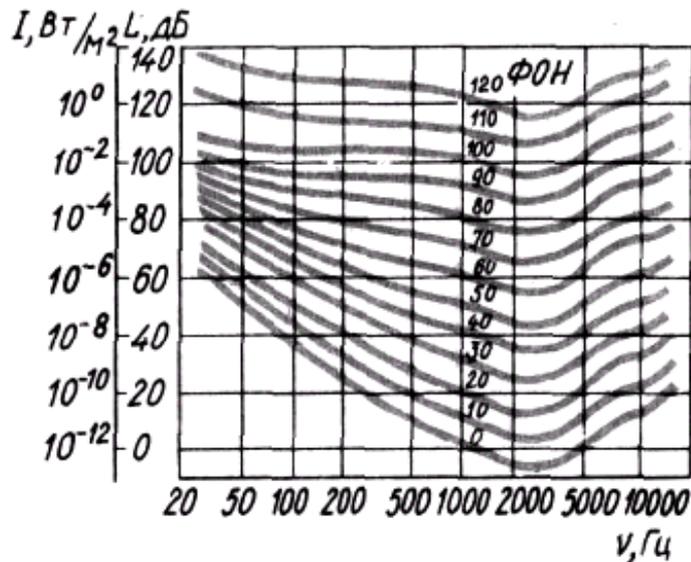


Рис.3. Кривые равной громкости

Метод измерения остроты слуха называется *аудиометрией*. При аудиометрии на приборе (аудиометре) определяют порог слухового ощущения на разных частотах. Полученная кривая называется *спектральной характеристикой уха на пороге слышимости* или *аудиограммой*.

Для характеристики функционального состояния слухового анализатора пользуются специальными приемами исследования воздушной и костной проводимости, чаще всего направленными на различие признаков чистых тонов, а также разговорной речи, белого шума и частотно-модулированных сигналов.

При исследовании слуха с помощью чистых тонов большое значение имеет длительность подаваемых звуковых сигналов, которая должна быть одинаковой на протяжении всего исследования (1-3 сек.). Отдельные сигналы следует разделять временным интервалом не менее 10 сек. Исследования всегда начинаются с подпороговых величин раздражителя.

Минимальная интенсивность звука, которая может быть воспринята слухом, называется *порогом слышимости*. Для определения порогов слышимости используют аудиометры различных конструкций.

Метод заключается в измерении порога воздушной и костной проводимости на различных частотах звука (в  $\text{дБ}$ ). В норме пороговое значение воздушной проводимости значительно ниже, чем костной (рис.4). Асимметрия сторон не отмечается. Порог минимальный на частотах 60-125 и 8000  $\text{Гц}$ . Максимальное значение порога в области 1000-4000  $\text{Гц}$ .

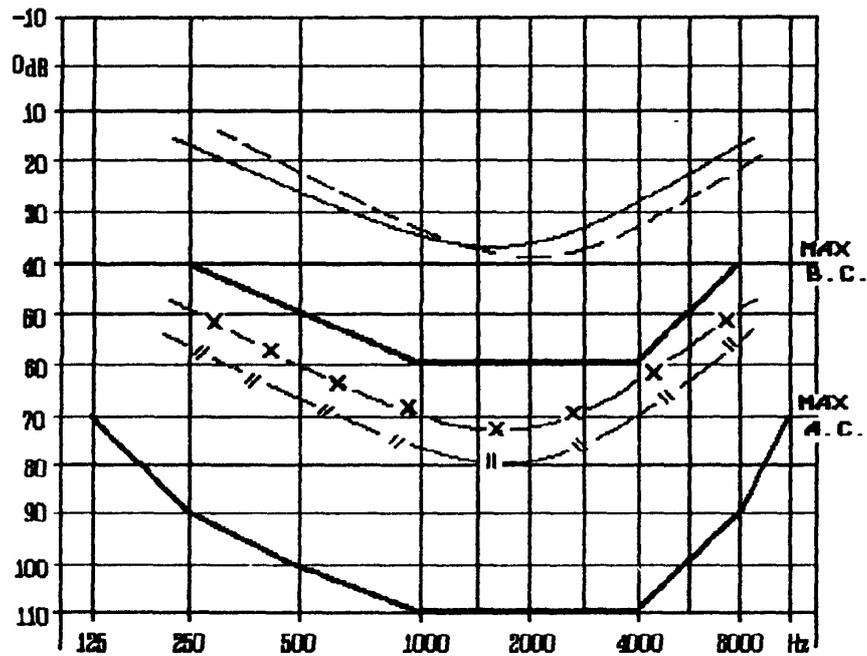


Рис.4. Аудиограмма здорового человека.

Воздушная: а) правое ————— Костная: а) правое: -x-x-x-  
 б) левое - - - - - б) левое : -||-||-||-

Для отита характерно возрастание порога воздушной проводимости, преимущественно на низких тонах. Костная проводимость при этом не изменяется (рис.5).

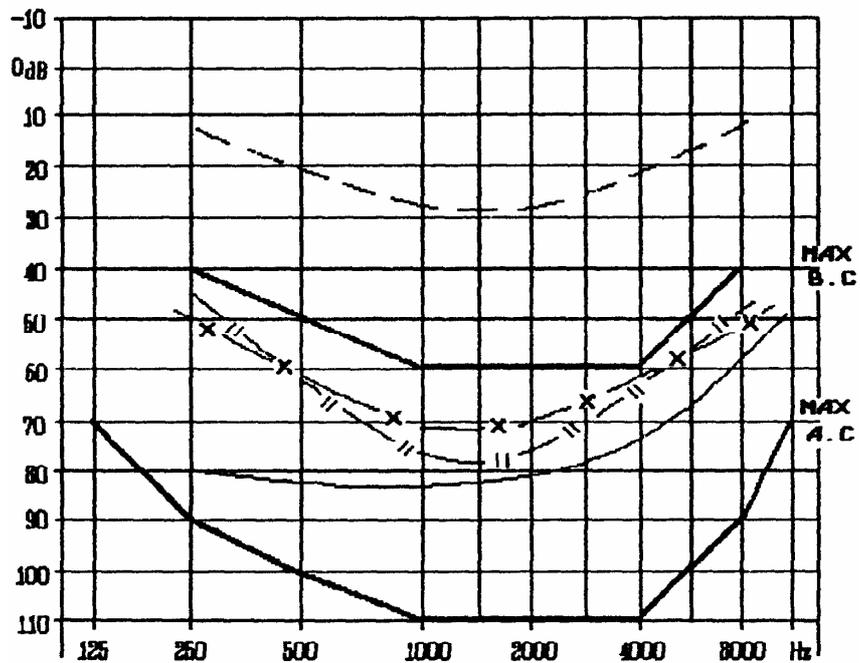


Рис.5. Аудиограмма больного с отитом (воспаление среднего уха) справа.

При нарушении слухового нерва характерно резкое повышение порогов обоих видов проводимости в области высоких частот. Низкочастотные пороги также возрастают, но в меньшей степени (рис.6).

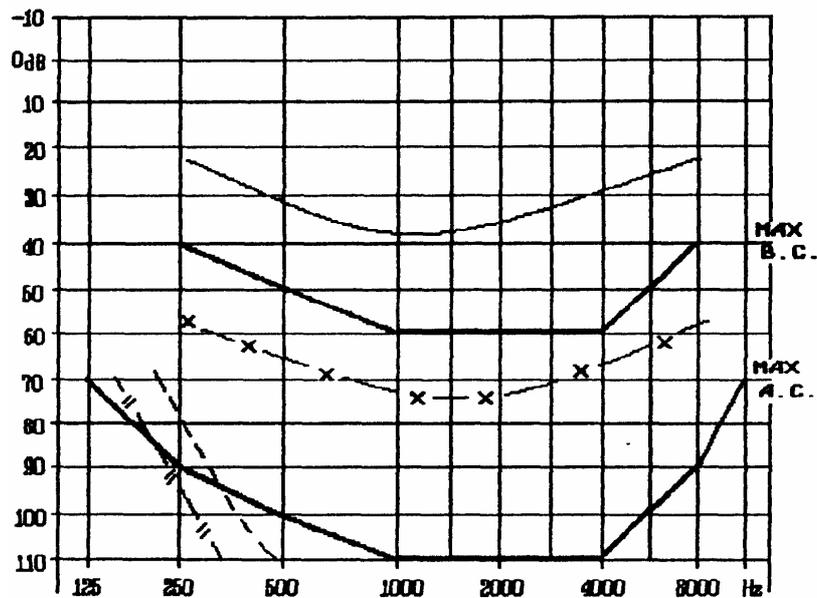


Рис.6. Аудиограмма больного с поражением левого слухового нерва.

Две основные причины снижения слуха - поражения среднего уха и слухового нерва.

Метод тональной аудиометрии позволяет провести дифференциальную диагностику в этих двух случаях.

### Описание установки

Аудиометр представляет собой звуковой генератор чистых тонов различной частоты и интенсивности. Структурная схема аудиометра приведена на рис. 7.

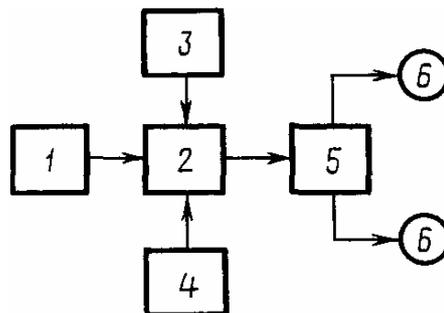


Рис. 7

Основной частью прибора является генератор электрических колебаний звуковой частоты 2, напряжение на который подается от сети через блок питания 1. Переключатель частот 4 позволяет получить гармонические колебания фиксированной частоты в диапазоне от 125 до 8000 Гц. Уровень интенсивности изменяется дискретно регулятором 3 с интервалом 5 дБ на каждой частоте в диапазоне от 0 до 80 дБ. В наушниках 6 происходит преобразование электрических колебаний в звуковые. Переключатель

наушников 5 позволяет подавать сигнал отдельно на правый и левый наушники.

## ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Ознакомьтесь с инструкцией к аудиометру входящему в состав КТД-8 (расположена на панели аудиометра).

2. Для каждого студента выполнить аудиометрическое исследование. При этом важно, чтобы испытуемый во время исследования не видел панель прибора.

3. На каждой из частот определить порог воздушной проводимости.

а) Наденьте на «пациента» наушники и включите аудиометр.

б) Подайте сигнал на один из наушников.

в) Установите частоту колебаний 250 Гц и, увеличивая интенсивность звука от 0 дБ, зафиксируйте значение уровня интенсивности  $L_1$ , при котором «пациент» услышит звук. Измерения повторите три раза.

г) Не меняя частоты, установите уровень интенсивности на 15 — 20 дБ выше  $L_1$  и, уменьшая интенсивность, зафиксируйте наименьший уровень интенсивности  $L_2$ , при котором звук еще слышен. Измерения повторите три раза.

д) Вычислите среднее значение порогового уровня интенсивности  $L$  для данной частоты.

е). Аналогично определите ( $L$ ) для всех частот аудиометра.

ж) Данные измерений и вычислений занесите в табл. 1.

з) Подайте сигнал на другой наушник и повторите действия заданий п 3б-3ж

4. Постройте аудиограммы - зависимость порога восприятия от частоты - для воздушной проводимости на правой и левом ухе.

5. Исследовать адаптацию слухового анализатора. Для этого определить порог восприятия на частоте 1000 Гц до и после минутного воздействия этого тона максимальной громкости.

**Таблица 1**

$f$ , Гц	$L_1'$ дБ	$L_1''$ дБ	$L_1'''$ дБ	$L_2'$ дБ	$L_2''$ дБ	$L_2'''$ дБ	$L$ дБ

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Общие принципы функционирования сенсорных систем. Параметры, характеристики и закономерности.
2. Что представляет собой звук? Укажите физические характеристики звука.
3. Перечислите характеристики слухового ощущения и укажите, как они связаны с физическими характеристиками звука
4. Сформулируйте закон Вебера—Фехнера.
5. Укажите единицы уровня интенсивности и громкости звука.
6. Принцип метода аудиометрии. Что представляет собой аудиометр?
7. Клиническая ценность аудиометрических исследований.

### Решите задачи

1. Интенсивность плоской волны в воздухе равна  $I=10^{-10}$  Вт/м<sup>2</sup>. Найдите амплитуду колебаний частиц воздуха при нормальных условиях и объемную плотность энергии колебательного движения для частот:  $\nu_1=20$  Гц,  $\nu_2=1000$  Гц,  $\nu_3=20000$  Гц. Скорость звука в воздухе  $V=330$  м/с.
2. Известно, что человеческое ухо воспринимает упругие волны в интервале частот от  $\nu_1=20$  Гц до  $\nu_2=20$  кГц. Каким длинам волн соответствует этот интервал в воздухе? в воде? Скорости звука в воздухе и воде равны соответственно  $V_1=340$  м/с,  $V_2=1400$  м/с.
3. Изучение движения барабанной перепонки показало, что скорость колебания ее участков оказывается величиной одного порядка со скоростью смещения молекул воздуха при распространении плоской волны. Исходя из этого, вычислите приблизительно амплитуду колебания участков барабанной перепонки для двух случаев: а) порог слышимости; б) порог болевого ощущения. Частота равна  $\nu=1$  кГц.
4. Определите среднюю силу, действующую на барабанную перепонку человека (площадь  $S=66$  мм<sup>2</sup>) для двух случаев: а) порог слышимости; б) порог болевого ощущения. Частота равна  $\nu=1$  кГц.
5. Два звука одинаковой частоты  $\nu=1$  кГц отличаются по громкости на  $\Delta E=20$  фон. Во сколько раз отличаются их интенсивности?
6. Разрыв барабанной перепонки наступает при уровне интенсивности звука  $L_0=150$  дБ. Определите интенсивность, амплитудное значение звукового давления и амплитуду смещения частиц в волне для звука частотой  $\nu=1$  кГц, при которых может наступить разрыв барабанной перепонки.
7. Нормальный разговор человека оценивается уровнем громкости звука  $E_1=50$  фон (для частоты  $\nu=1$  кГц). Определите уровень громкости звука, соответствующего трем одновременно говорящим людям.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛУХОВОГО АНАЛИЗАТОРА МЕТОДОМ  
АУДИОМЕТРИИ

Методические указания к выполнению лабораторной работы

Составители: А.А. Аристов

Подписано к печати 30.12.2007 г.

Усл. печ. л. 0,43.

Тираж 20 экз.

Рег. № 191 от 30.12.2004. – Томск: Изд. ТПУ, 2007. – 10 с.