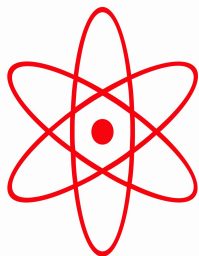


НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ



**ФМБ-1**

**СНЯТИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ УХА НА  
ПОРОГЕ СЛЫШИМОСТИ**

Тула, 2009 г

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА.

## СНЯТИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ УХА НА ПОРОГЕ СЛЫШИМОСТИ

Цель работы: изучение некоторых физиологических характеристик звуковых колебаний и ознакомление с основами аудиометрии.

### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ.

#### Основные свойства звукового анализатора.

Звуковой анализатор является филогенетически наиболее молодым из органов чувств и представляет собой наиболее позднее и совершенное приобретение человека.

Реагируя на малые изменения среды, происходящие на больших расстояниях, он является важнейшим дистантным рецептором. Биологическое значение его не может быть переоценено, так как звук является наиболее постоянным спутником любой деятельности, любой активности, любого движения во внешней среде, что объясняет большое распространение звуков в природе.

Поэтому сигнальное значение этого анализатора особенно велико. Вследствие наличия звукового анализатора мы не только дробим звук на отдельные элементы, но благодаря образованию условных связей узнаем значение окружающих нас звуков— шагов, лая собаки, шума трамвая и т. д.

Наконец, членораздельная речь осуществляется деятельностью второй сигнальной системы.

При помощи звукового анализатора человек различает звуки по их *высоте, громкости и окраске* (тембру). Высота того или другого звука (тона) определяется частотой колебаний. Человеческое ухо воспринимает звуки с частотой колебаний примерно от 16 до 20 000 Гц. Нижний и верхний пределы не представляют собой резко очерченную границу, а скорее некоторую область. Так, например, нижняя область охватывает звуки от 12 до 24 Гц, а верхняя от 18000 до 22000 Гц. Чем больше их амплитуда, тем более широко раздвигаются пределы слышимости. Это явление объясняется, по-видимому, тем, что локализация звуковых частот на основной мембране ограничена зоной от 100 до 10 000-13 000 Гц. Для более низких и высоких частот специальных участков (волокон) не существует. Восприятие этих звуков осуществляется благодаря обертонам, которые возникают при большой силе звуков. Поэтому при нарастании интенсивности звука верхняя граница восприятия повышается. Определение высоты тона в этой области отсутствует. При восприятии наиболее низких тонов примешивается ощущение вибрации, что затрудняет точное установление нижней границы.

Звуковые колебания с частотой ниже 16 колебаний относят к

инфразвукам, выше 20 000 Гц — к ультразвукам. Диапазон звуков, воспринимаемых животными, не совпадает с объемом слышимых человеком звуков. Методом условных рефлексов доказано, что собаки воспринимают звуки до 30 000 Гц, кошки — до 40 000 Гц. Летучие мыши издают звуки высотой в 50000-60000 Гц и воспринимают их. Этим объясняется их способность избегать столкновения с предметами даже при выключенном зрении (принцип радара). В пределах своего диапазона нормальное человеческое ухо воспринимает все тоны непрерывно, без пропусков.

Для высоты тона, помимо частотного числа, можно применять и нотные обозначения. Октавой называется тон, обладающий двойной частотой по отношению к первому. В октаве различают 7 ступеней, которые называются в музыке *до (с), ре (d), ми (e), фа (f), соль (g), ля (a), си (h)*.

### **Функция наружного и среднего уха.**

Звукопроводящий аппарат является весьма совершенной механической системой. Она отвечает и на минимальные колебания воздуха, которые вызывают сдвиги барабанной перепонки величиной меньше диаметра молекулы и способна передавать также колебания, в миллиарды раз (в  $10^{13}$  и более превышающие их пороговую силу. Наконец, эта система разлагает сложный звук на его компоненты (синусоидные колебания), т. е. производит первичный анализ его.

Основным путем доставки звуков к уху является воздушный. Подошедший звук колеблет барабанную перепонку, и далее через цепь слуховых косточек колебания передаются на овальное окно. Одновременно возникают и колебания воздуха барабанной полости, которые передаются на мембрану круглого окна. Но так как давление на овальное окно превышает давление на круглое окно, то подножная пластинка в фазе сгущения вдавливается внутрь преддверия лабиринта, а мембрана круглого окна выпячивается в сторону барабанной полости.

Другим путем доставки звуков к улитке является тканевая или костная проводимость. При этом звук непосредственно действует на поверхность черепа, вызывая его колебания.

Костный путь передачи звуков приобретает большое значение, если вибрирующий предмет (например, ножка камертона) соприкасается с черепом, а также при заболеваниях системы среднего уха, когда нарушается передача звуков через цепь слуховых косточек.

*Ушная раковина* является до известной степени коллектором звуковых волн и имеет значение для ототопики (в частности, при определении направления звуков, идущих спереди или сзади).

*Слуховой проход* имеет форму трубки, благодаря чему он является хорошим проводником звуков в глубину. Некоторую роль при этом играет и хрящевая проводимость как ушной раковины, так и самого слухового прохода.

Ширина и форма слухового прохода не оказывают существенного влияния на звукопроводение. Об этом свидетельствует тот факт, что при наличии серной пробки в слуховом проходе слух заметно снижается только при полной закупорке его просвета. Извилистость наружного слухового прохода и высокая чувствительность его кожи способствует защите его от механических и термических факторов.

Благодаря конусовидной форме, неодинаковому натяжению отдельных частей и отягощению системой косточек барабанная перепонка не обладает собственным резонансом и без искажений передает звуковые колебания на овальное окно.

*Роль барабанной перепонки и слуховых косточек* состоит в том, что благодаря им воздушные колебания большой амплитуды и относительно малой силы трансформируются в колебания ушной лимфы с относительно малой амплитудой, но большим давлением.

Это достигается, во-первых, тем, что площадь подножной пластинки стремени ( $3 \text{ мм}^2$ ) примерно в 20-25 раз меньше площади барабанной перепонки, и поэтому энергия, принимаемая пластинкой стремени, концентрируется на меньшей поверхности; во-вторых, благодаря рычажному механизму функционирования слуховых косточек сила, передаваемая на ушную лимфу, увеличивается еще примерно в 2 раза. Таким образом, коэффициент трансформации будет равняться 50-60. По новейшим данным этот коэффициент равен 20-25, что объясняется тем, что только часть барабанной перепонки активно участвует при колебаниях.

При отсутствии этого трансформирующего приспособления звуковая волна, подойдя к лабиринтной стенке, почти полностью отражалась бы обратно и величина давления на лимфу была бы очень небольшой.

Давление стремени передается на несжимаемую ушную лимфу. Передвижение столба жидкости в улитке происходит благодаря податливости мембраны круглого окна, которая при давлении на овальное окно выпячивается в полость среднего уха, а при обратном движении стремени выгибается в полость улитки.

Водопровод улитки, периневральные и периваскулярные пространства нервов и сосудов внутреннего уха очень узки и в значительной степени заполнены элементами соединительной ткани; поэтому они, по-видимому, не имеют большого значения для сдвига лимфы под влиянием звуков.

Таким образом, чем большей податливостью обладает мембрана круглого окна, тем более выгодным это оказывается для раздражения рецептора.

Долгое время шли споры *о функции круглого окна*. Некоторые авторы считали, что затруднение подвижности круглого окна (например, при помощи трансплантата) или отягощение его (ватным шариком) усиливают слух. Однако более точные опыты показали, что *ухудшение подвижности* мембраны круглого окна всегда понижает остроту слуха, но *экранирование* его приводит к обострению слуха. В опытах на кошках Т. Н. Мильштейн удалось уложить

трансплантат на нишу круглого окна таким образом, что между его мембраной и трансплантатом оказалась воздушная подушка. При этом улучшался слух, так как трансплантат экранировал круглое окно от воздушных волн, а податливость его мембраны не уменьшалась.

Благодаря связкам цепь слуховых косточек подвижно подвешена к стенкам барабанной полости и может совершать движения в разных направлениях. Точные измерения показали, что колебания цепи косточек совершаются преимущественно внутрь и наружу. При движении внутрь рукоятки молоточка такое же движение производит и длинный отросток наковальни. Подножная пластинка, однако, не совершает поршнеобразных движений кнутри и кнаружи, а скорее качается наподобие колокола около оси, образуемой утолщенной частью *lig. annulare*, которая занимает ниже-задний полюс овального окна.

При не слишком интенсивных звуках движение цепи косточек совершается как одно целое (без смещения в суставах между наковальней и молоточком).

В результате действия очень сильных звуков (порог боли и давления) движение в суставе между молоточком и наковальней тормозится, а подножная пластинка начинает производить вращательное движение вокруг длинной оси овального окна. Благодаря этому величина смещения лимфы уменьшается, т. е. в этих случаях действует защитный механизм. Таким образом, действие системы косточек в нормальных условиях усиливает доставку звуков к овальному окну (механизм концентрации и рычагов), при чрезмерных же звуках они (косточки) осуществляют защитную функцию: во-первых, в силу рассмотренных выше механических свойств, во-вторых, благодаря функции слуховых мышц, прикрепляющихся к слуховым косточкам.

При сокращении слуховых мышц цепь слуховых косточек делается менее подвижной, что нарушает нормальную звукопередачу и уменьшает передвижение ушной лимфы. При сильных звуках (примерно 60 дБ выше порога) мышцы приходят в тетаническое сокращение. Латентный период рефлекса очень короткий, примерно 15-50 мс, причем максимальное сокращение наступает уже через  $\frac{1}{10}$  сек. Поэтому быстрота их действия может быть сравнима с быстротой мигательного рефлекса. Таким образом, основная функция слуховых мышц состоит в *защите* уха от чрезмерно интенсивных звуков. Порог раздражения для басовых звуков у стременной мышцы понижен в сравнении с порогом *m. tensor tympani*.

При сокращении слуховых мышц чувствительность уха для басовых звуков падает на 30-40 дБ; на восприятие дискантовых звуков сокращение мышц столь заметным образом не влияет; следовательно, благодаря этому рефлексу осуществляется защита уха от интенсивных басовых звуков. Так, например, при выпадении функции стременной мышцы (при параличах *n. facialis*) наблюдается болезненное восприятие сильных звуков (*оухосоиа*).

По мнению ряда авторов, при прислушивании происходит некоторое увеличение тонуса этих мышц, что приводит цепь косточек в наивыгоднейшее

положение для передачи ничтожно малых колебаний. Косвенно это подтверждается наблюдениями В. Е. Перекалина, который при параличе лицевого нерва и бездействии стремениной мышцы находил некоторое ухудшение восприятия речи.

Поэтому можно допустить, что слуховые мышцы, кроме основной защитной функции, выполняют и *аккомодационную функцию*, обеспечивая наиболее выгодное натяжение отдельных элементов звукопроводящей системы среднего уха.

Важным условием для правильной работы звукопроводящей системы является отсутствие различия в давлении по обе стороны барабанной перепонки. При понижении или повышении давления как в барабанной полости, так и в слуховом проходе натяжение барабанной перепонки меняется, акустическое сопротивление повышается и слух падает. В норме обычное атмосферное давление в барабанной полости обеспечивается вентиляционной функцией евстахиевой трубы. При глотании и зевании труба открывается и делается проходимой для воздуха. Повышение атмосферного давления в носоглотке (при помощи продувания уха, опыта Вальсальвы) способствует восстановлению давления в среднем ухе.

Кроме воздушного пути, проведения звуковых волн существует *тканевый*, или *костный*, путь.

Под влиянием воздушных звуковых колебаний, а также при соприкосновении вибраторов (например, костного телефона или костного камертона) с покровами головы кости черепа приходят в колебание (начинает колебаться и костный лабиринт).

На основании последних данных (Бекеша — Bekesy и др.) можно допустить, что звуки, распространяющиеся по костям черепа, только в том случае возбуждают кортиева орган, если они, аналогично воздушным волнам, вызывают выгибание определенного участка основной мембраны. Существенное значение имеют два типа костной проводимости.

1. *Инерционный тип костной проводимости*. Полагают, что под влиянием звуковых волн весь череп совершает колебательные движения. Так как цепь слуховых косточек обладает известной инерцией и очень легкой смещаемостью, то при перемещениях головы она несколько от них отстает, и таким образом осуществляется относительное перемещение подножной пластинки стремени по отношению к рамке овального окна. При таком механизме костной проводимости подвижность обоих окон так же необходима, как и при воздушной проводимости. Инерционный механизм костной проводимости играет большую роль при передаче по костям басовых звуков, так как при воздействии относительно медленных колебаний с большой амплитудой череп колеблется как одно целое.

2. *Компрессионный тип костной проводимости* имеет место при воздействии высоких звуков.

Под влиянием высоких звуков череп начинает колебаться отдельными

сегментами, которые испытывают то сжатие, то ослабление давления. Такому же периодическому сжатию и ослаблению компрессии подвергается и лабиринтная капсула. В фазе сжатия лимфа испытывает давление со всех сторон и выпячивает мембраны обоих окон. Если бы они обладали одинаковым акустическим сопротивлением и одинаковой податливостью, *то в равной степени* выпячивались бы в сторону барабанной полости. В этом случае никакого изгиба основной перепонки не получалось бы, так как она испытывала бы одинаковое давление с обеих сторон. На самом же деле мембрана круглого окна гораздо податливее подножной пластинки (примерно в 7-8 раз), и поэтому она выпячивается гораздо больше, чем подножная пластинка. Очевидно, что в этом случае основная перепонка прогнется в сторону барабанной лестницы.

Этот механизм костной проводимости представляет большой интерес, так как он резко отличается от механизма воздушной проводимости. Основное значение здесь имеет не общая подвижность закрывающих окна образований, а *различие* в их подвижности. Поэтому фиксация одного из них (например, анкилоз стремени) даже способствует компрессионному механизму костной проводимости. Этим и объясняется резкое различие в порогах воздушной и костной проводимости при отосклерозе.

Сложные явления, наблюдаемые при костной аудиометрии, всегда должны рассматриваться с учетом этих двух механизмов. Обычно они действуют оба, но удельный вес каждого зависит от высоты и силы подаваемого звука, а также от изменений в звукопроводящем аппарате, в особенности от состояния окон.

### Основы аудиометрии.

Звук представляет собой колебания с частотой от 16 Гц до 20 кГц, распространяющиеся в упругой среде. Источником звука может быть колеблющееся тело, частота колебаний которого лежит в диапазоне звуковых частот (камертон, звонок, струна и т. п.).

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 можно разложить 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).

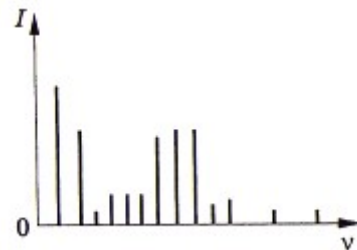


Рис. 1. Линейчатый спектр сложного тона

*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.

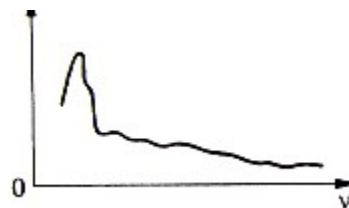


Рис. 2. Сплошной спектр шума

Энергетической характеристикой звука является *интенсивность*. Нормальное человеческое ухо воспринимает очень широкий диапазон интенсивностей звука: так, например, на частоте 1 кГц от  $10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup> (порог слышимости) до 10 Вт/м<sup>2</sup> (порог болевого ощущения).

Для оценки интенсивности звука применяют логарифмическую шкалу — *шкалу уровней интенсивности*. *Уровень интенсивности*:

$$L = \lg \frac{I}{I_0} \quad (\text{Б}) \quad (1.1)$$

или

$$L = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0} \quad (\text{дБ}) \quad (1.2)$$

где  $I$  — интенсивность звука,  $I_0$  — стандартная наименьшая интенсивность, принимаемая за начальный уровень шкалы ( $I_0 = 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>).

Уровень интенсивности выражают в беллах (Б) или децибеллах (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 этому закону, при увеличении раздражения в геометрической прогрессии ощущение этого раздражения возрастает в арифметической прогрессии. Из этого закона следует, что громкость звука  $E$  пропорциональна логарифму отношения интенсивностей звуков:

$$E = 10 k \lg \frac{I}{I_0} \quad (\text{фон}) \quad (1.3)$$

где  $k$  — 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  $I$  совпадают.

В этом случае  $k = 1$  и 1 фон соответствует 1 дБ.

Громкость на других частотах измеряют сравнением исследуемой громкости звука с громкостью звука частотой 1 кГц.

Для нахождения соответствия между громкостью и интенсивностью звука на разных частотах используют *кривые равной громкости* (рис. 3). Их строят на основании средних данных, полученных у

людей с нормальным слухом. Нижняя кривая соответствует интенсивностям  $I_{min}$  звуков, соответствующих возникновению слухового ощущения в условиях тишины — *порогу слышимости* для каждой частоты. Для всех частот этой кривой  $E = 0$ ; для частоты 1 кГц интенсивность звука  $I_{min} = I_0 = 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>. Верхняя кривая соответствует *порогу болевого ощущения* для каждой частоты — интенсивности, вызывающей в ухе ощущение боли. Пороги болевого ощущения мало зависят от частоты звука.

Метод измерения остроты слуха называют *аудиометрией*. При аудиометрии на приборе (аудиометре) определяют *порог восприятия*  $L_n$  на разных частотах:

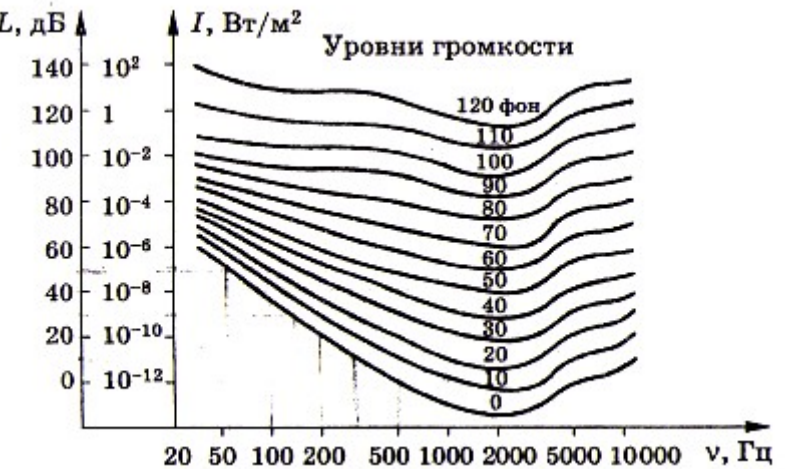


Рис. 3. Кривые равной громкости.

$$L_n = 10 \lg \frac{I_n}{I_{min}} \quad (\text{дБ}) \quad (1.4)$$

где  $I_n$  — пороговая интенсивность звука, которая приводит к возникновению слухового ощущения у испытуемого.

Полученная зависимость порога восприятия  $L_n$  от частоты  $\nu$  тона называется *спектральной характеристикой уха на пороге слышимости* или *аудиограммой*. При проведении аудиометрии отсчет порога восприятия ведется от нулевого уровня, который соответствует среднему порогу слышимости для молодых людей с нормальным слухом. Изменение порога восприятия по сравнению с нулевым уровнем указывает на отклонение слуха у испытуемого от среднестатистической нормы. Отклонения порога восприятия от нулевого уровня на  $\pm 10$  дБ считаются лежащими в пределах нормы.

В медицинской практике принято при построении аудиограмм ось  $0L_n$  направлять вниз (рис. 4), в этом случае отклонение кривых ( $\bullet$  — левое ухо,  $\times$  — правое ухо) от нулевого уровня наглядно характеризует снижение слуха у испытуемого. На рисунке 4 в качестве примера изображены аудиограммы человека, у которого наблюдается снижение слуха для правого уха на 40—60 дБ по сравнению с нормой, а левое ухо соответствует норме.

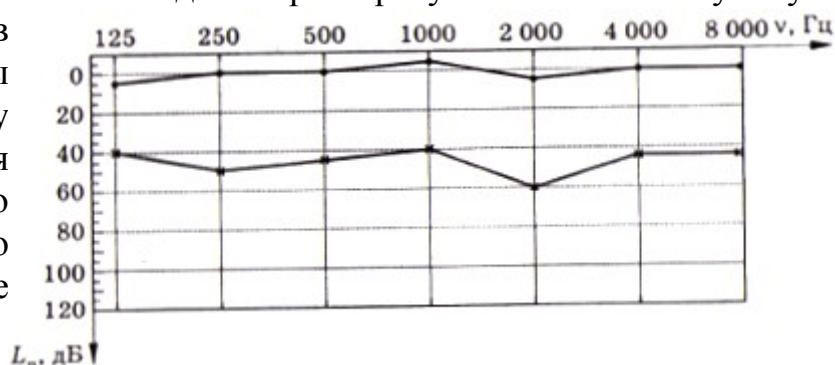


Рис. 4. Аудиограмма левого (верхняя кривая) и правого (нижняя кривая) уха.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

### Приборы и оборудование.

Лабораторная работы выполняется на учебной установке ФМБ-1, предназначенной для исследования спектральной характеристики уха на пороге слышимости. Аудиометр представляет собой звуковой генератор чистых тонов различной частоты и интенсивности. Структурная схема аудиометра приведена на рисунке 5.

Основной частью прибора является генератор 2 электрических колебаний звуковой частоты, напряжение на который подается от сети через стабилизированный источник питания 1. Кнопки переключения частот 4 «УСТАНОВКА ЧАСТОТЫ» позволяют получить гармонические колебания различной частоты в звуковом диапазоне. Интенсивность изменяется регуляторами 3 «ИНТЕНСИВНОСТЬ ГРУБО» и «ИНТЕНСИВНОСТЬ ПЛАВНО». В наушниках 6 происходит преобразование электрических колебаний в звуковые сигналы. Кнопки-переключатели «КАНАЛЫ» наушников 5 позволяют подавать сигнал отдельно на правый и левый наушники.

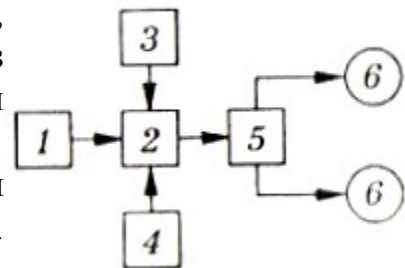


Рис. 5. Структурная схема аудиометра.

Важным приспособлением является аттенюатор — специальный делитель напряжения, ослабляющий выходное напряжение при каждом новом положении ручек. Наличие двух аттенюаторов с плавной и грубой регулировкой позволяет с достаточной степенью точности ослаблять сигнал в широких пределах. Принципиальная схема аттенюатора, используемого в работе приведена на рис. 6.

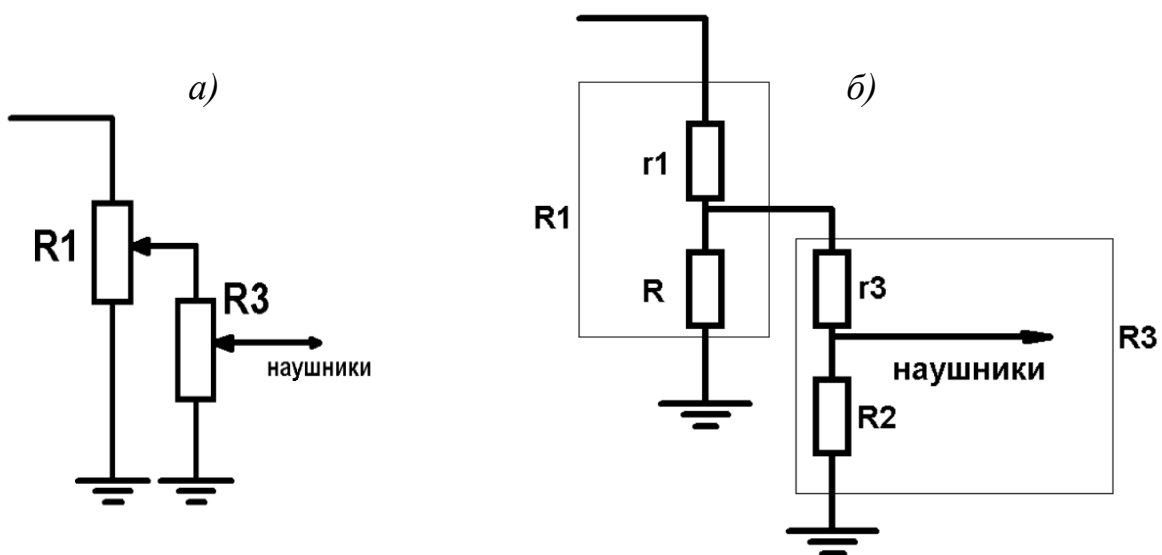


Рис. 6. Схема аттенюатора лабораторной установки ФМБ-1

Для расчета коэффициента ослабления схемы рис. 6 а) представим её в виде эквивалентной схемы рис. 6 б), в которой две части каждого из потенциометров  $R_1=10\text{ кОм}$  и  $R_3=10\text{ кОм}$  представлены отдельно.

$$\begin{aligned} R_1 &= 10\text{ кОм} = r_1 + R; \\ R_3 &= 10\text{ кОм} = r_3 + R_2 \end{aligned} \quad (2.1)$$

где  $R$  и  $R_2$  — показания цифрового LCD индикатора на передней панели установки.

Для расчета коэффициента ослабления данной схемы необходимо осуществить преобразование сопротивлений  $R$ ,  $r_3$ ,  $R_2$  рис. 6 б), включенных в схему треугольником, в звезду. Преобразование треугольник-звезда является стандартным приемом при расчете электрических схем и подробно здесь не рассматривается.

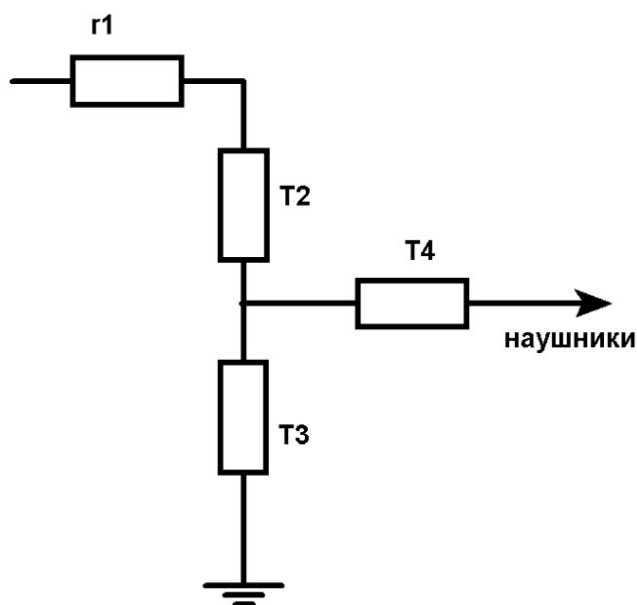


Рис. 7. Эквивалентная схема аттенюатора.

На рис. 7 изображена схема, эквивалентная схеме рис. 6, в которой элементы (сопротивления)  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$  соединены в звезду. По правилам преобразования:

$$T_2 = \frac{R \cdot r_3}{R + r_3 + R_2} \quad (2.2)$$

$$T_3 = \frac{R \cdot R_2}{R + r_3 + R_2}$$

Коэффициент ослабления (усиления) по определению:

$$K=10\lg(U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВХ}}) \quad [\text{дБ}] \quad (2.3)$$

Исходя из схемы рис. 7:  $U_{\text{ВЫХ}}=U_{T3}$ . Падение напряжение на сопротивлении

$$T3: \quad U_{T3}=I \cdot T3 \quad . \quad \text{Общий ток в цепи} \quad I=\frac{U_{\text{вх}}}{R_{\text{общее}}}, \quad \text{где} \quad R_{\text{общее}}=r1+T2+T3 \quad .$$

Подставляя найденные соотношения в формулу (2.3), получим коэффициент ослабления в виде:

$$K=10\lg\frac{T3}{R_{\text{общее}}} \quad (2.4)$$

В (2.4) следует подставлять известное значение  $R_{\text{общее}}=r1+T2+T3$ , а значения сопротивлений  $T2$  и  $T3$  берутся соответственно из формул (2.2).

Формулу (2.4) можно заметно упростить с помощью простейших арифметических действий с учетом (2.1). После несложных преобразований, получим:

$$K=10\lg\left(\frac{\frac{R \cdot R2}{R+10}}{10-R+\frac{10 \cdot R}{R+10}}\right) \quad [\text{дБ}] \quad (2.5)$$

Так как в данной работе используется не усилитель сигнала, а аттенюатор (ослабитель), то коэффициент  $K$  получается отрицательным и аудиограмма будет лежать в отрицательной области по коэффициенту  $K$  (оси  $OL_n$ ).

Для того, чтобы аудиограмма имела обычный вид, изображенный на рис. 4, вводится поправочный коэффициент  $k_0$  [дБ] (средний уровень порога слышимости при 1 кГц, рассчитанный по формуле (2.5) для людей с нормальным слухом) Коэффициент  $k_0$  определяется для каждого прибора на основании средних данных, полученных у людей с нормальным слухом и условно определяет начало отсчета оси  $OL_n$ .

Таким образом, окончательная расчетная формула для определения *порога восприятия* для данной частоты:

$$L_n=10\lg\left(\frac{\frac{R \cdot R2}{R+10}}{10-R+\frac{10 \cdot R}{R+10}}\right)+k_0 \quad [\text{дБ}] \quad (2.6)$$

Для данной установки принять  $k_0=26$  дБ. Коэффициент может зависеть от типа подключенных наушников, поэтому при смене типа наушников рекомендуется установку перекалибровать.

Пусть, например, в процессе измерения были получены следующие значения  $R$  и  $R2$  (по показаниям цифрового измерительного прибора) при которых на данной частоте звук начинает становиться слышимым:  $R=0,87$  Ом  $R2=0,96$  Ом. По формуле (2.6), получаем значение порога восприятия для данной частоты:

$$L_n=-21.14+26=4.86 \quad [\text{дБ}]$$

Нанеся рассчитанные точки на график для различных частот, получим аудиограмму для правого либо левого уха.



10. Измерения повторите не менее 3-х раз ( $L_{п1}$ ,  $L_{п2}$ ,  $L_{п3}$ ), каждый раз снижая интенсивность от среднего уровня до значения при котором испытуемый перестает слышать звук.

11. Не меняя частоты, установить наименьший уровень интенсивности, повернув ручки регулировки ослаблений до упора против часовой стрелки.

12. Вращая по возможности синхронно ручки «ИНТЕНСИВНОСТЬ ГРУБО» и «ИНТЕНСИВНОСТЬ ПЛАВНО» по часовой стрелки зафиксируйте значение порога восприятия (показания аттенюатора R и R2) при котором испытуемый начинает слышать звук.

13. Рассчитайте по формуле (2.6) значение порога восприятия  $L_{п4}$ , дБ. Данные занесите в таблицу 1.

14. Измерения повторите не менее 3-х раз ( $L_{п4}$ ,  $L_{п5}$ ,  $L_{п6}$ ).

15. Вычислите среднее значение порога восприятия  $\bar{L}_n$  для данной частоты.

16. С помощью кнопок «УСТАНОВКА ЧАСТОТЫ» установить другую частоту аудиометра и повторить измерения  $\bar{L}_n$  аналогично пп. 8-15. Все данные измерений и вычислений заносите в таблицу 1. **При переключении частоты рекомендуется перед началом измерения подождать в течение ~ 1 минуты для стабилизации параметров.**

17. Измерения проделать для всех возможных частот аудиометра при которых испытуемый слышит звук.

18. Используя кнопки-переключатели «КАНАЛЫ» выключить сигнал от наушника, который вы исследовали в предыдущих пунктах и подать его на другой наушник.

19. Повторите действия, аналогичные пп. 8-16 для всех возможных частот аудиометра при которых испытуемый слышит звук для исследуемого уха. Все данные измерений и вычислений заносите в таблицу 1.

20. Постройте аудиограммы для левого и правого уха (см. рис. 4).

21. По окончании работы поставить переключатель «СЕТЬ» на панели установки в положение «выкл», при этом должен погаснуть индикатор сеть и вынуть вилку из розетки.

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что представляет собой звук? Укажите физические характеристики звука.
2. Перечислите характеристики слухового ощущения и укажите, как они связаны с физическими характеристиками звука.
3. Сформулируйте закон Вебера — Фехнера.
4. Укажите единицы уровня интенсивности и громкости звука.
5. Что называется аудиометрией?
6. Что представляет собой аудиометр?



**РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

- 1. Дьяконов В.П.** MathCAD 8/2000. Специальный справочник.—СПб.: Питер, 2000.—590 с.
- 2. Медицинская биофизика / Под ред. О.В.Самойлова.**—Л.: ВМА, 1986.—480 с.
- 3. Руководство по оториноларингологии / Под ред. И.Б.Солдатова.**—М.: Медицина, 1997.—608 с.
- 4. Физиология сенсорных систем / Под ред. А.И. Батуева.**—М.: Медицина, 1976.—400 с.
- 5. Яворский Б.И, Детлаф А.А.** Справочник по физике.—М.: ФМ, 1990.—624 с.

ДЛЯ СВОБОДНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ  
НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»