

УДК 534.75

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОСПРИЯТИЯ ЧЕЛОВЕКОМ
АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫХ ШУМОВ*Н. А. Дубровский, Л. Н. Тумаркина*

Широкополосный амплитудно-модулированный белый шум представляет собой тип стимула, спектральные характеристики которого практически не зависят от глубины модуляции. Поэтому такой шум представляется очень полезным при изучении временных механизмов слуха. В работе измерялись пороги восприятия модуляции белого шума в диапазоне частот от 0,5 до 100 гц. Особое внимание было уделено вопросам тренировки испытуемых к восприятию амплитудно-модулированных шумов. Результаты экспериментов рассматриваются на основе простой физической модели, учитывающей как интегрирующие, так и дифференцирующие свойства слуховой системы.

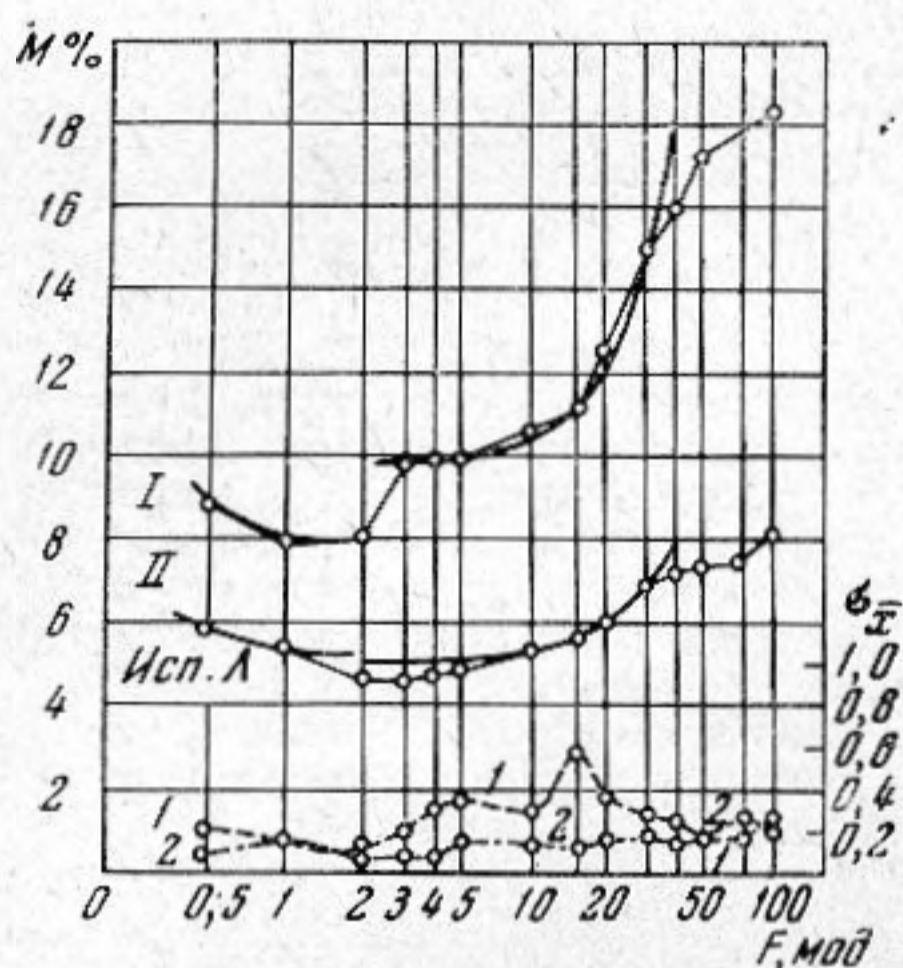
Известно, что ухо осуществляет частотно-временной анализ воспринимаемых звуковых сигналов. Естественно, что особый интерес для понимания механизмов слуха имеют такие сигналы, при восприятии которых как бы в чистом виде проявляется способность уха производить частотный или временной анализ. Типичным примером сигналов, при восприятии которых производится только временной анализ, служат широкополосные шумы, модулированные по амплитуде низкими частотами.

Такие шумы неоднократно применялись при изучении временных механизмов восприятия высоты. Однако при этом использовались, как правило, довольно высокие частоты модуляции (порядка 100 гц) и глубины модуляции (близкие или равные 100%).

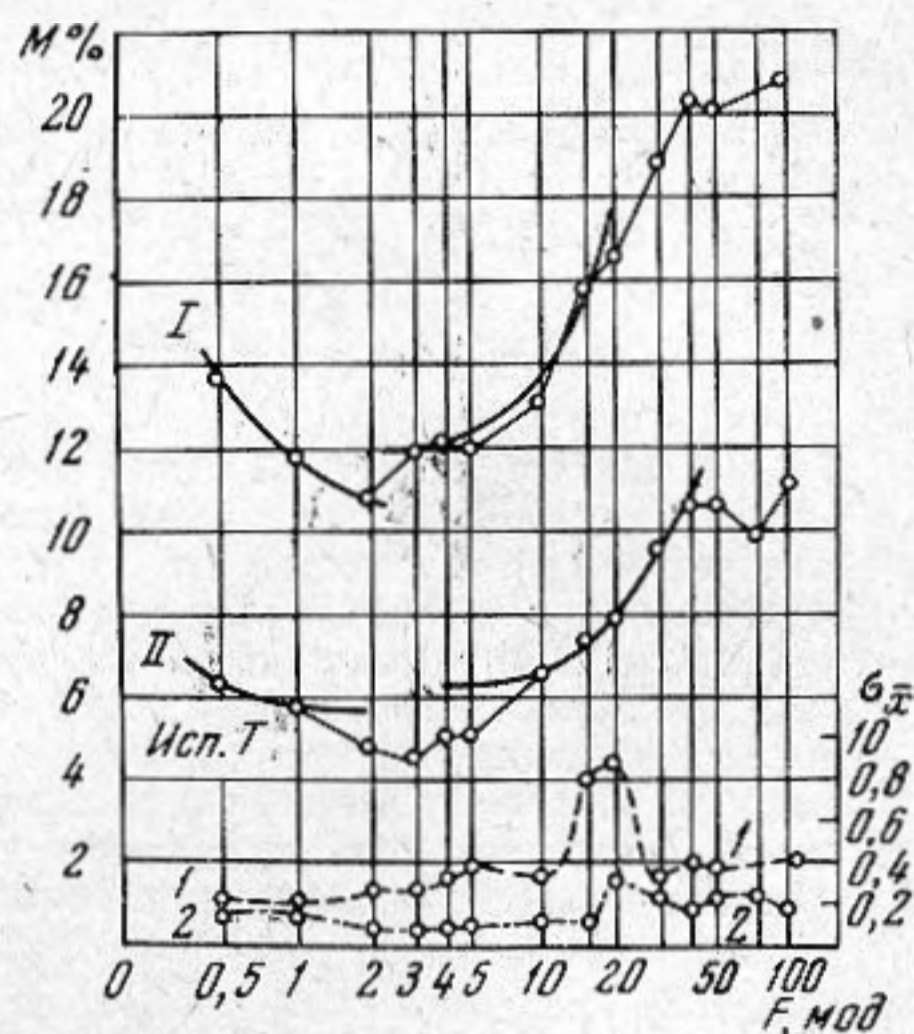
Вместе с тем, до сих пор не было проведено сколько-нибудь подробного изучения тех характерных признаков амплитудно-модулированных шумов, по которым человек определяет наличие модуляции шума. Заметим, что в работе [1] при изучении восприятия амплитудно-модулированных тонов указано на наличие двух характерных частотных областей; амплитудная модуляция при низких модулирующих частотах воспринимается как изменение амплитуды, а при более высоких частотах модуляции как «хрипкость». Однако авторы работы [1] отказались от попыток установления границ этих областей. Детальное исследование характерных признаков амплитудно-модулированных шумов и связанных с ними субъективных критериев, благодаря которым человек отличает такие шумы от немодулированного шума, и явилось целью настоящей работы. Восприятие исследовано в диапазоне низких звуковых и инфразвуковых частот модуляции от 0,5 до 100 гц. В работе рассмотрена также роль тренировки испытуемых к восприятию амплитудно-модулированных шумов. Анализ экспериментальных результатов проведен на основе простых феноменологических моделей.

В ходе экспериментов источником белого шума служил генератор низкочастотных шумов Г2-12, дающий стационарный случайный шум в диапазоне частот от 100 до 20 000 гц. Шум модулировался по амплитуде при помощи специального модулятора. Модулирующее напряжение в диапазоне частот от 0,5 до 100 гц поступало на модулятор с выхода низко-

частотного генератора периодических колебаний НГПК-3. После соответствующего усиления модулированный шум через согласующий катодный повторитель поступал на динамические телефоны ТД-6 испытуемого, находившегося в звукоизолированной камере; уровень звукового давления шума был постоянен и всегда равен 76 дб. Ввод модуляции происходил по линейному закону во времени с практически постоянной скоростью. Задача испытуемого состояла в том, чтобы словесно отмечать тот момент времени, когда он распознавал наличие модуляции сигнала. После ответа



Фиг. 1



Фиг. 2

испытуемого модулирующее напряжение быстро выводилось. В ходе опытов момент начала ввода модуляции выбирался случайно, чтобы избежать ложных ответов в результате выработки рефлекса на время появления модуляции.

В качестве испытуемых в опытах участвовали мужчины в возрасте 20—25 лет, обладавшие нормальным слухом. Перед началом серийных измерений все они тщательно обучались в течение 2—3 месяцев.

После завершения обучения испытуемых были проведены две серии измерений порогов восприятия модуляции. Вторая серия была проведена через 6 месяцев после завершения первой серии измерений. До проведения первой серии опытов испытуемые участвовали в экспериментах с амплитудно-модулированными тонами. В промежутке между первой и второй сериями измерений испытуемые были заняты в опытах как с амплитудно-модулированными тонами, так и с амплитудно-модулированными шумами при уровнях, отличных от 76 дб.

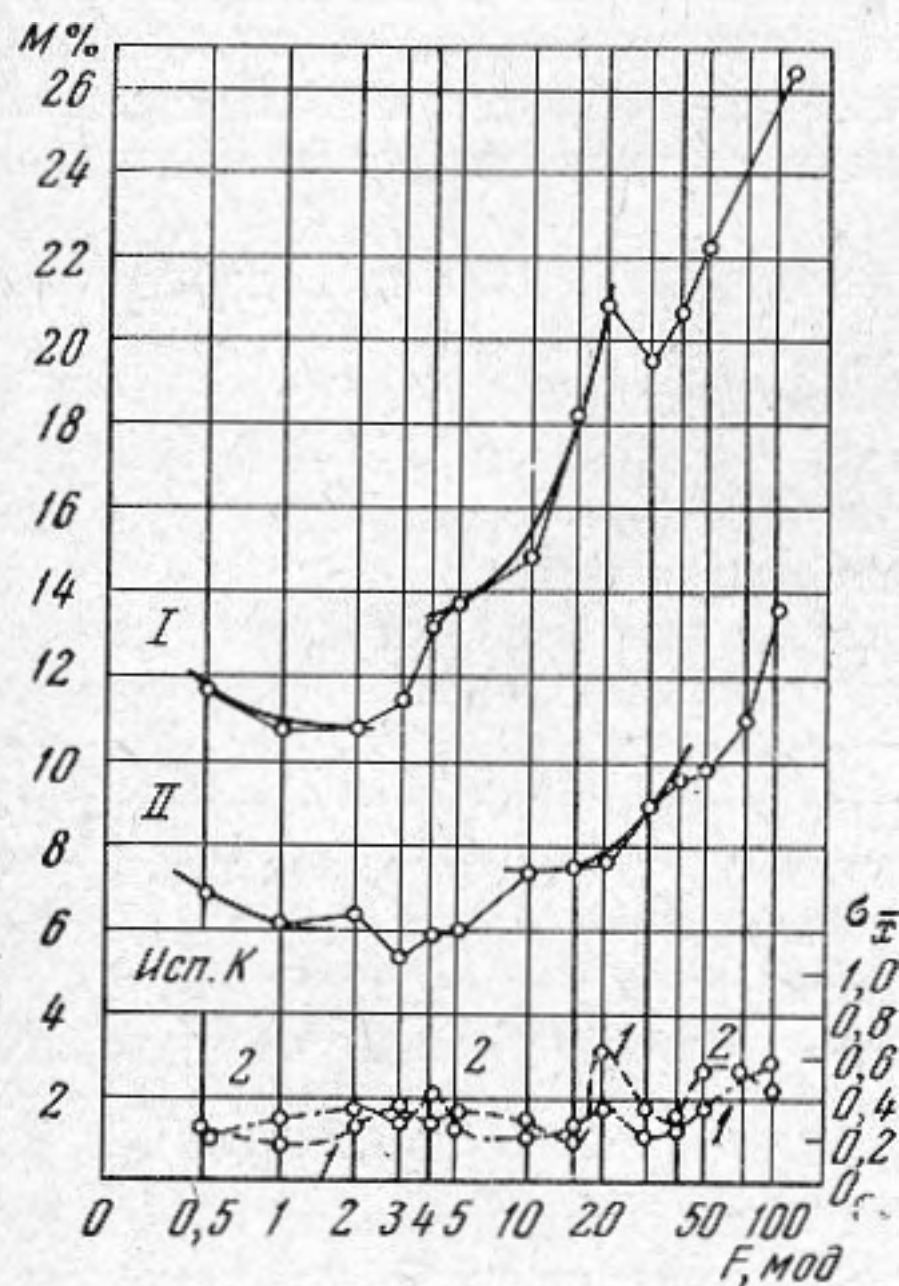
Результаты обеих серий измерений приведены на фиг. 1—4. По оси абсцисс на этих фигурах отложены частоты модуляции в герцах, а по оси ординат с левой стороны — пороговые глубины модуляции в процентах. Тонкие линии соединяют опытные точки, а жирные линии представляют собой теоретические кривые, которые будут рассмотрены ниже. Кривые, относящиеся к первой серии, обозначены I, относящиеся ко второй серии измерений — II. На фиг. 1—3 приведены индивидуальные данные соответственно для испытуемых Л, Т и К; на фиг. 4 представлены средне-взвешенные значения порогов для тех же трех испытуемых Л, Т и К*.

Каждая экспериментальная точка на кривых I и II (за исключением кривой II для испытуемого К), представленных на фиг. 1—3, основана

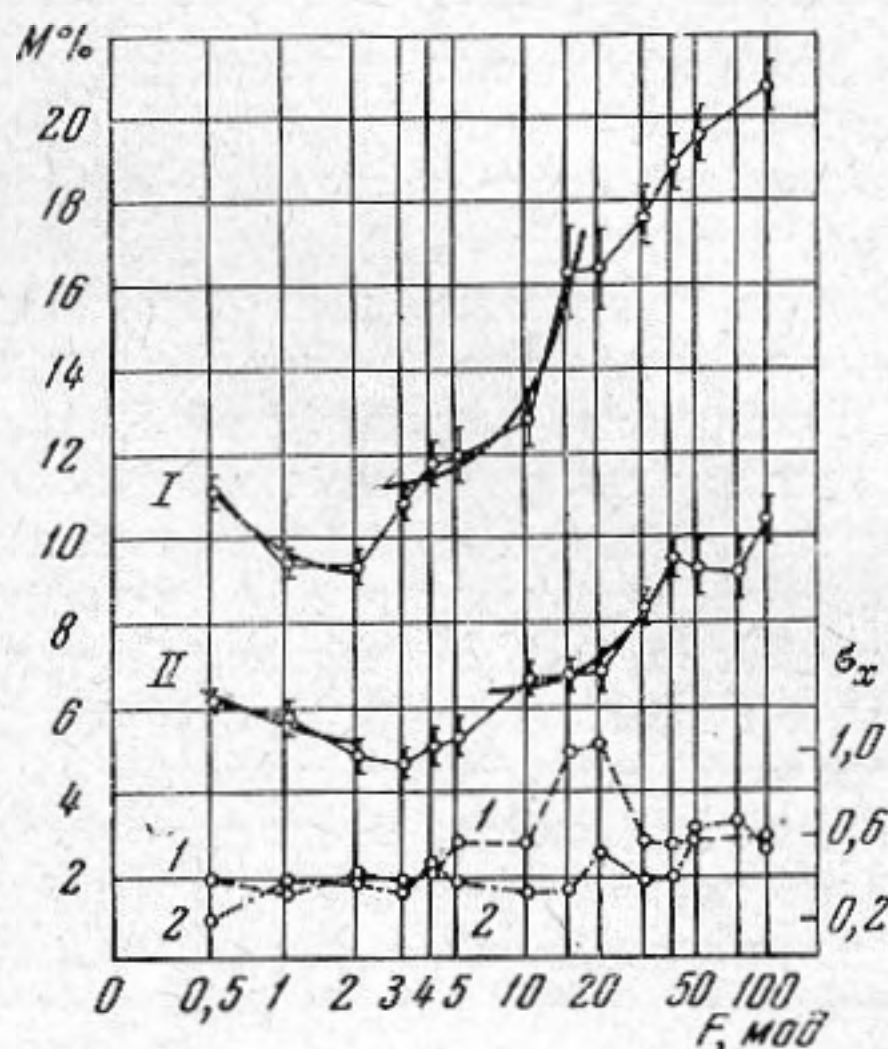
* Обозначения — по начальной букве фамилии испытуемого.

не менее чем на 60 измерениях порогов. Каждая точка кривой II на фигуре 3 основана не менее чем на 30 измерениях.

На тех же фигурах показаны кривые, характеризующие зависимость стандартного отклонения средних значений порогов от частоты. Вертикальный масштаб для этих кривых представлен с правой стороны каждой фигуры. Кривые 1 относятся к первой серии измерений, кривые 2 — ко второй.



Фиг. 3



Фиг. 4

Как видно из приведенных фигур, частотные зависимости порогов модуляции во всех случаях оказываются сходными. Кривые достигают минимума в диапазоне частот модуляции 1,5—5 гц. При уходе от частоты минимума как в сторону более низких, так и в сторону более высоких частот происходит увеличение порогов. Для первой серии минимальное усредненное значение порога на частоте 2 гц равно 9,4% (фиг. 4)*. На частоте модуляции 100 гц необходимая пороговая глубина модуляции составляет около 21%, т. е. более чем в 2,2 раза превышает минимальную величину. Во второй серии наблюдается резкое снижение порогов модуляции. Так, например, минимальный средний порог (на частоте 3 гц) составляет уже 4,9%, т. е. на 4,5% меньше соответственного значения для первой серии. Снижение пороговых глубин модуляции особенно хорошо заметно на высоких частотах, где пороги снизились на величины от 6,5 до 10,5%. Уменьшение средних значений порогов для второй серии измерений (фиг. 4) сопровождалось некоторым снижением рассеяния данных. Наиболее заметно это снижение на частотах от 5 до 40 гц.

Приведенные опытные данные демонстрируют прежде всего важную роль тренировки испытуемых для восприятия амплитудно-модулированных шумов. Рассмотрение хронологической последовательности измерений после периода обучения для каждого испытуемого и каждой серии опытов не выявило никакого закономерного изменения порогов во времени. Детальный анализ результатов экспериментов с амплитудно-модулиро-

* По результатам работы [1], в которой пороги восприятия модуляции были измерены на частоте модуляции 2 гц, пороговая глубина модуляции оказалась равной 6%.

ванными тонами и с амплитудно-модулированными шумами при уровнях, отличных от 76 дб, проведенных в промежутке между первой и второй сериями измерений, также не позволил обнаружить заметного снижения порогов при работе с одним и тем же видом амплитудно-модулированных сигналов. Однако каждый раз переход от опытов с шумами к опытам с тонами и обратно приводил к скачкообразному изменению порогов. Здесь мы встречаемся с фактом накопления количественных изменений в механизме восприятия амплитудно-модулированных сигналов, которые оказываются практически незаметными при одном и том же типе сигнала, но приводящими к резкому количественному и, как будет показано ниже, до некоторой степени к качественному изменению восприятия при переходе от одного типа сигнала к другому.

Резкие изменения абсолютных величин порогов были неодинаковы для разных частот модуляции. Этот факт наводит на мысль о том, что жизненный опыт человека позволяет приобрести навыки к восприятию лишь низкочастотных модуляций, лежащих в диапазоне 0,5—10 гц. Длительная тренировка дает возможность значительно расширить диапазон относительно легко воспринимаемых частот модуляции.

Восприятие амплитудной модуляции шума при инфразвуковых модулирующих частотах не может основываться на изменении спектральных характеристик, поскольку спектр амплитудно-модулированного шума при таких частотах модуляции практически неотличим от спектра немодулированного шума. Естественно в таком случае предположить, что испытуемые определяли наличие модуляции шума только по периодическому, с частотой модуляции, изменению во времени интенсивности шума. Если эта гипотеза верна, то следует ожидать, что по крайней мере на частотах, где пороги восприятия модуляции минимальны, пороговая разность между максимальным и минимальным уровнями шума при модуляции будет близка к величине дифференциального порога по интенсивности для белого шума. По данным работы [2], среднее значение этой величины для группы испытуемых было равно 0,41 дб.

Чтобы проверить высказанное предположение, мы представили на фиг. 5 данные фиг. 4 (кривая II) в виде зависимости пороговой разности уровней шума при модуляции (ΔL) от частоты модуляции. Для амплитудно-модулированного шума мы имеем выражение $x_m(t) = (1 + m \times \cos \Omega t) \cdot x(t)$, где $x(t)$ — исходный немодулированный шум, m — глубина модуляции, Ω — угловая частота модуляции. Тогда

$$\max [x_m(t)] = (1 + m) \cdot x(t) \quad \text{и} \quad \min [x_m(t)] = (1 - m) \cdot x(t).$$

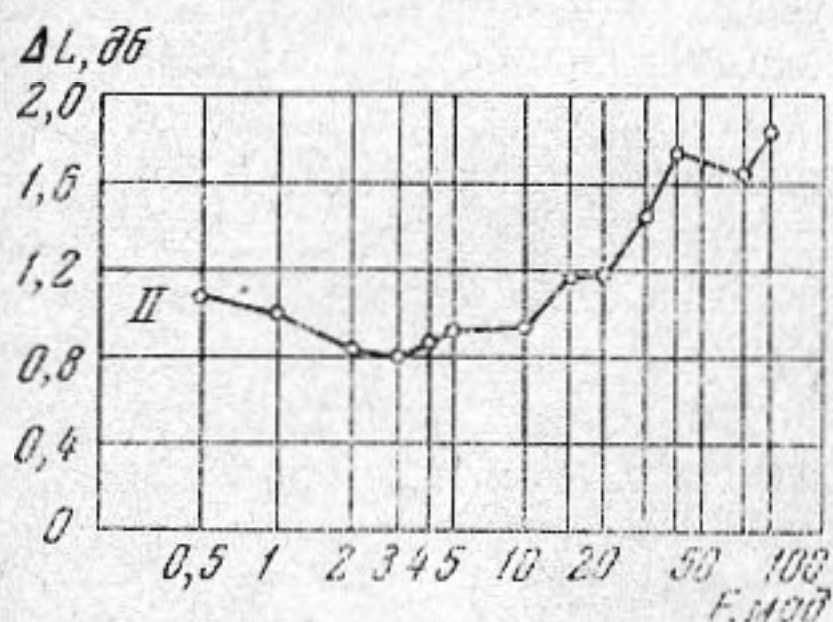
Выраженная в децибеллах разность уровней этих величин будет

$$\Delta L = 20 \cdot \lg \frac{(1 + m) \cdot x(t)}{(1 - m) \cdot x(t)} = 20 \lg \frac{1 + m}{1 - m}. \quad (1)$$

На фиг. 5 видно, что вблизи 3 гц пороговая разность уровней ΔL составляет 0,8 дб. Эта величина оказалась достаточно близкой к величине дифференциального порога. Наблюдаемое различие можно объяснить, во-первых, тем, что в опытах Миллера [2] по измерению дифференциального порога использовалось скачкообразное изменение уровня шума. В нашем эксперименте на частоте минимума время нарастания уровня от минимального до максимального значения составляет половину периода частоты модуляции, т. е. приблизительно 170—180 мсек. Во-вторых, определенное значение могло иметь то обстоятельство, что наши испытуемые еще не достигли предельно возможного уровня тренировки. Чтобы проверить это предположение, тренировки двух испытуемых, Л и Т, были продолжены. В результате средняя величина ΔL снизилась до 0,57 дб. Эта величина оказалась уже внутри пределов рассеяния значений дифферен-

циальных порогов для испытуемых, принимавших участие в опытах Миллера.

При отходе от частоты минимума как в сторону более высоких, так и более низких частот происходит плавное возрастание величины ΔL . Так, например, на частоте 0,5 гц величина ΔL оказалась равной 1,1 дб, а на частотах выше 40 гц — более 1,6 дб.



Фиг. 5



Фиг. 6

Чтобы яснее представить себе причины возрастания порогов модуляции, возвратимся к индивидуальным данным, представленным на фиг. 1—3.

На всех без исключения пороговых кривых I и II можно выделить четыре характерных участка. Первый, падающий участок кривой, отвечает частотам модуляции 0,5—2 гц для первой серии измерений и частотам 0,5—1 гц для второй. Вторым — переходный участок, охватывающий частоты минимума порогов модуляции, лежит в интервале от 1,5—2 гц до 4—5 гц. На кривых первой серии второй участок плавно смыкается с первым участком, но имеет скачкообразный переход к третьему участку (особенно это заметно на фиг. 1 и 2). На кривых второй серии второй участок гораздо шире и очерчен более четко как со стороны низких, так и со стороны высоких частот. В самом этом участке довольно ясно выражено положение минимума кривых: 2 гц для испытуемого Л и 3 гц для испытуемых Т и К. Третий участок соответствует наиболее круто нарастающей ветви кривых. Он охватывает диапазон частот от 3—5 гц до 15—20 гц для первой серии измерений и от 10 до 30—40 гц для второй серии измерений. Наконец, четвертый участок кривой отвечает частотам выше 15—20 гц для первой серии измерений и выше 30—40 гц для второй. В ряде случаев переход к этому участку сопровождается не только замедлением роста порогов с частотой, но и некоторым спадом последних (кривая второй серии измерений на фиг. 2 и кривая первой серии на фиг. 3).

Мы предполагаем, что первый, падающий участок отражает тот факт, что ухо не в состоянии точно запоминать абсолютные значения уровня шума в течение длительных интервалов времени. Иными словами, на этом участке проявляются дифференцирующие свойства слуха. Относительное снижение порогов на этом участке было несколько меньше, чем на других участках. Так, например, для испытуемого Л относительное снижение составило всего 1,45 раза по сравнению со средним спадом в 2 раза на третьем участке в диапазоне 3—10 гц. Последнее замечание иллюстрируется также кривыми для стандартного отклонения средних. На фиг. 1—3 видно (кривые 1 и 2), что для первой серии измерений рассеяние данных было минимально на первом, падающем участке кривой; однако для второй серии измерений (за исключением испытуемого К) при общем снижении рассеяния данных минимум рассеяния сместился в область минимума порогов.

При прослушивании амплитудно-модулированного шума легко установить, что на втором участке кривых, в области минимума ухо в состоя-

нии непосредственно следовать за изменениями уровня при модуляции. В процессе тренировки, как указывалось выше, наблюдается смещение минимума в область более высоких частот модуляции. Причины такого смещения мы рассмотрим несколько ниже.

По нашему мнению, третий участок кривых отражает тот известный факт, что слуховая система обладает инерционностью. При быстрых изменениях уровня шума ухо уже не в состоянии следовать за этими изменениями. Происходит суммация или усреднение последних. Иными словами, на этом участке ухо обнаруживает интегрирующие свойства.

Поясним сказанное при помощи схематического рисунка, представленного на фиг. 6. Пусть синусоидальная кривая (сплошная линия) соответствует огибающей амплитудно-модулированного шума. При низких модулирующих частотах (порядка 2—5 гц) ухо успевает следить за изменениями уровня шума. При повышении частоты модуляции изменения уровня становятся слишком быстрыми для того, чтобы процессы нарастания и спада возбуждения в слуховой системе могли поспевать за изменениями уровня. В этом случае изменения возбуждения в слухе будут происходить примерно так, как показано на фиг. 6 пунктирной линией. Очевидно, что разность между минимальным и максимальным возбуждением уменьшится. Для того чтобы скомпенсировать уменьшение разности между минимальным и максимальным возбуждениями при модуляции, приходится соответственно увеличивать глубину модуляции. На штриховых и штрихпунктирных кривых (фиг. 1—4) этот участок, как правило, характеризуется небольшим, но закономерным увеличением рассеяния данных.

При тренировке участок «интегрирования» смещается к более высоким частотам и несколько расширяется. Это означает, что соответственная «постоянная времени интегрирования» уменьшается. В этом случае становится понятной причина смещения области минимума кривых к высоким частотам; дело в том, что с уменьшением постоянной интегрирования ухо оказывается в состоянии непосредственно следовать за более быстрыми изменениями уровня шума при модуляции.

На границе между участком интегрирования и четвертым, самым высокочастотным участком кривых испытуемые вели себя неуверенно, что нашло свое отражение в резком увеличении рассеяния порогов. Для первой серии измерений максимумы кривых 1 и 2 в этой пограничной области выражены особенно отчетливо. Опрос испытуемых показал, что на частотах выше 40 гц модуляция обнаруживается по изменению самого характера шума. Он становится «хриплым» и «шероховатым». Для нас очевидно, что на этих частотах испытуемые используют именно признак «шероховатости» и «хриплости» для различения амплитудно-модулированного шума от немодулированного. Отсюда следует, что неуверенное поведение испытуемых на границе участка интегрирования с участком «хриплости» можно объяснить тем, что они применяют здесь в более или менее случайном порядке оба признака модулированности шума, т. е. как признак изменения уровня, так и признак «хриплости».

С нашей точки зрения особый интерес представляет наличие спада порогов при переходе к использованию только признака «хриплости». Это говорит о том, что переход к использованию признака «хриплости» обусловлен более легкой распознаваемостью модуляции на этих частотах по этому признаку по сравнению с признаком изменения уровня шума.

В этой связи следует ожидать существования психологического эффекта, напоминающего по форме явления магнитного или упругого гистерезиса. Суть этого эффекта должна состоять в следующем. Если в ходе опытов переходить от низких к высоким частотам модуляции, то может оказаться, что испытуемые используют признак изменения уровня шума до более высоких частот, чем это следует делать, исходя из задачи опыта, и, наоборот, при переходе от высоких к более низким частотам испытуемые могли использовать признак «хриплости» до частот, более низких, чем

это следовало делать, исходя из необходимости различать как можно меньшие глубины модуляции.

Для математического описания представленных данных мы попытались создать простую феноменологическую модель восприятия амплитудно-модулированного шума. Блок-схема модели приведена на фиг. 7. Она состоит из детектора-преобразователя 1, фильтра 2 и порогового решающего устройства 3. Первый блок модели осуществляет детектирование и преобразование исходного стимула в величину, которая при восприятии проявляется как громкость.

Введем функцию $x'(t)$, которая совпадает с исходным немодулированным шумом $x(t)$ для положительных значений $x(t)$ и равна нулю для отрицательных. Очевидно, что эта функция отражает детектирующие свойства базилярной мембраны внутреннего уха [3]. В качестве характеристики преобразования детектора-преобразователя мы используем опытную зависимость громкости широкополосного белого шума от уровня этого шума, полученную Флетчером и Мансоном и Поллаком (данные взяты из обзора Ликляйдера [4]). Эта зависимость в диапазоне 60—80 дб может быть с хорошим приближением описана при помощи следующего выражения: $L(t) = 1,21 \cdot I_{\text{сон}}$, где $L(t)$ — громкость белого шума в сонах, а I есть уровень этого шума.

На основании изложенного зависимость выхода детектора преобразователя $L(t)$ от его входа $x_m(t)$ может быть выражена как

$$L(t) = 1,21 \cdot 20 \lg \frac{(1 + m \cdot \cos \Omega t) \cdot x'(t)}{I_0},$$

где $I_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ бар. Очевидно, что это выражение можно записать в виде $L(t) = 24,2 \cdot \lg (1 + m \cos \Omega t) + 24,2 \lg [x'(t) \cdot I_0^{-1}]$. Первый член в последнем выражении характеризует пульсацию функции $L(t)$ с частотой модуляции; второй член есть средний уровень вызванной стимулом высокочастотной «нервной» активности в модели, зависящей от уровня шума на входе. Как показано в работе [1], восприятие амплитудно-модулированного шума при частоте 2 гц не зависит от уровня шума в диапазоне 30—100 дб. На этом основании в дальнейшем мы будем считать, что

$$L(t) = 24,2 \cdot \lg (1 + m \cdot \cos \Omega t). \quad (2)$$

Проанализируем теперь работу следующего блока модели, осуществляющего операцию дифференцирования с некоторой постоянной времени τ_1 на первом низкочастотном участке кривых и операцию интегрирования с постоянной времени τ_2 на высоких частотах. Эквивалентные электрические схемы этого блока для низких и высоких частот модуляции приведены соответственно на фиг. 8, а и б. Функция $h(t)$ (фиг. 7) характеризует выходной сигнал фильтра, поступающий на пороговое устройство. Напомним, что передаточные функции фильтра будут для низких частот:

$$h(t) = L(t) \frac{\tau_1 \cdot \Omega}{\sqrt{1 + (\tau_1 \cdot \Omega)^2}} \quad (3)$$

и для высоких частот

$$h(t) = L(t) \frac{1}{\sqrt{1 + (\tau_2 \cdot \Omega)^2}}. \quad (4)$$

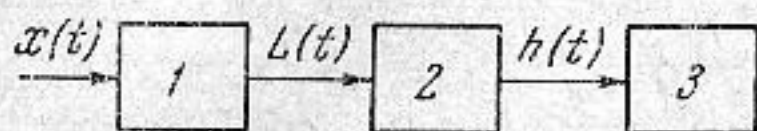
В третьем блоке модели выносится решение о наличии или отсутствии модуляции шума. Если амплитуда функции $h(t) \geq h_0$, то считается, что модуляция в данное время имеется; если амплитуда $h(t) < h_0$, то считается, что модуляция отсутствует. В этих неравенствах константа h_0 обозначает порог решения. Подставим в выражения (3) и (4) вместо

функций $L(t)$ и $h(t)$ соответственно их амплитудное и пороговое значения, тогда можно написать

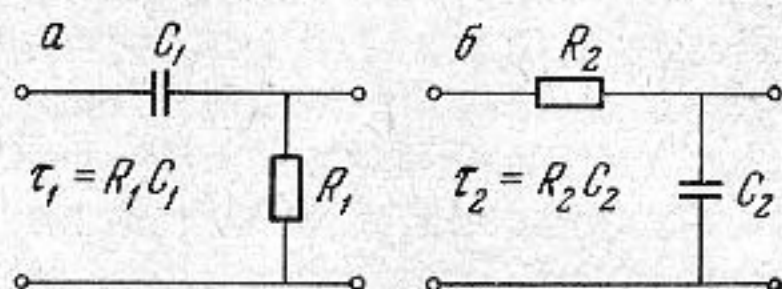
$$L_0 \cdot \tau_1 \cdot \Omega \cdot [1 + (\tau_1 \cdot \Omega)^2]^{-1/2} = h_{0H}, \quad (5)$$

$$L_0 \cdot [1 + (\tau_2 \cdot \Omega)^2]^{-1/2} = h_{0B}, \quad (6)$$

где $L_0 = \lg(1 + m_0) \cdot 24,2$ (m_0 — пороговое значение глубины модуляции). Пороговые константы h_0 , относящиеся к диапазону низких и высоких



Фиг. 7



Фиг. 8

частот модуляции, обозначены соответственно через h_{0H} и h_{0B} . Подставляя вместо величины L_0 величину $24,2 \cdot \lg(1 + m_0)$ в выражения (5) и (6), получим

$$\lg(1 + m_0) = C_H \cdot F^{-1} (1 + a_H \cdot F^2)^{1/2} \quad (7)$$

и

$$\lg(1 + m_0) = C_B (1 + a_B \cdot F^2)^{1/2}, \quad (8)$$

где $C_H = h_{0H} / 24,2 \cdot \tau_1 \cdot 2\pi$; $C_B = h_{0B} / 24,2$; $a_H = (2\pi \cdot \tau_1)^2$ и $a_B = (2\pi \cdot \tau_2)^2$.

Были проведены вычисления констант C_H , C_B , a_H и a_B для соответственных участков пороговых кривых (фиг. 1—4). Формула (7) использовалась для аппроксимации низкочастотной, падающей ветви кривых, где в соответствии с нашей гипотезой ухо производит дифференцирование стимула с постоянной времени дифференцирования τ_1 . Формула (8) использовалась для аппроксимации высокочастотной ветви пороговых кривых, где, по нашему предположению, ухо производит интегрирование с постоянной времени τ_2 . Результаты аппроксимации представлены на фиг. 1—4 жирными линиями на первом и третьем участках опытных кривых. Найденные значения констант для обеих серий измерений приведены в таблице.

Испытуемые	Первая серия						Вторая серия					
	a_H	$C_H \cdot 10^{-3}$	τ_1	$a_B \cdot 10^{-3}$	C_B	τ_2	a_H	$C_H \cdot 10^{-3}$	τ_1	$a_B \cdot 10^{-3}$	C_B	τ_2
	сек ²	1/сек	мсек	сек ²	—	мсек	сек ²	1/сек	мсек	сек ²	—	мсек
<i>L</i>	15,9	8,20	635	1,74	0,0400	6,6	17,6	5,26	670	1,52	0,020	4,8
<i>T</i>	6,9	16,70	420	2,80	0,0486	8,4	17,5	5,80	666	1,13	0,026	6,2
<i>K</i>	22,6	9,30	759	3,45	0,0525	9,3	14,9	6,50	615	0,57	0,031	3,8
Средние	9,7	13,00	494	4,55	0,0460	10,7	9,1	7,00	478	0,88	0,026	6,7

Рассмотрим сначала параметры, относящиеся к уравнению (7). Постоянные времени дифференцирования оказались порядка 0,5 сек. Для испытуемых *L* и *T* постоянные времени дифференцирования при переходе от первой серии измерений ко второй возросли. Такое возрастание характеризует тренировку слуховой системы к восприятию очень медленных изменений уровня шума. Для испытуемого *K* эта постоянная τ_1 уменьшилась. Однако это отклонение можно отнести за счет того, что каждая опытная точка во второй серии измерений для испытуемого *K* основана всего на 30 единичных измерениях, поэтому точность определения констант уравнений (7) и (8) для этого испытуемого была невелика. Постоянные C_H при переходе от первой ко второй серии опытов уменьши-

лись для всех трех испытуемых, что соответствует, как отмечалось выше, снижению порогов восприятия амплитудно-модулированных шумов в области частот 0,5—2 *гц*.

Для всех трех испытуемых постоянные времени интегрирования в первой серии измерений оказались лежащими в интервале 6,6—9,3 *мсек*. В процессе тренировки эти постоянные уменьшились до 3,8—6,2 *мсек* во второй серии измерений. Уменьшение этих величин говорит о способности слуховой системы тренироваться к восприятию все более высоких частот модуляции, основываясь на признаке изменения уровня шума при модуляции. Снижение постоянных времени интегрирования сопровождалось соответственным снижением пороговых констант C_v . Это снижение составило 1,8—2,0 раза для всех испытуемых.

Полученные оценки постоянной времени интегрирования хорошо согласуются с данными Фланагана [5] и Грина [6], однако существенно отличаются от величины постоянной времени (200 *мсек*), использованной Звислоцким в его теории временной суммации [7]. Это различие говорит о том, что инерционные свойства слуха не могут быть полностью описаны простой эквивалентной схемой, имеющей одну постоянную времени. При этом оказывается, что восприятие широкополосных стимулов (последовательностей коротких щелчков, амплитудно-модулированных шумов), спектры которых шире соответственных критических полос, более адекватно описывается эквивалентными схемами с постоянной времени порядка 10 *мсек* [5, 6], в то время как восприятие узкополосных стимулов (чистых тонов, последовательностей вспышек чистого тона) более адекватно описывается схемами с постоянной времени порядка 200 *мсек* [7].

В заключение авторы выражают благодарность О. В. Сосниной, А. В. Корабчевской и В. Д. Дроздовой за разработку экспериментальной установки и помощь в проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. Feldtkeller, E. Zwicker. Das Ohr als Nachrichtenempfänger. S. Hirzel Verlag, Stuttgart, 1956. Русск. пер. Изд-во «Связь», 1965.
2. G. A. Miller. Sensitivity to changes in the intensity of white noise and its relation to masking and loudness. J. Acoust. Soc. America, 1947, 19, 609—619.
3. J. L. Flanagan, E. E. David, Jr. and B. I. Watson. Binaural lateralization of cophasic and antiphase clicks. J. Acoust. Soc. America, 1964, 36, 2184—2194.
4. J. C. R. Licklider. Basic correlates of the auditory stimulus. Chapter 25, in «Handbook of Experimental Psychology». S. S. Stevens (Editor), John Wiley, New York, 1951.
5. J. L. Flanagan. Models for approximating basilar membrane displacement. Part II. Bell System. Techn. J., 1962, 41, 959—1009.
6. D. Green. Masking with two tones. J. Acoust. Soc. America, 1965, 37, 803.
7. J. Zwislocki. Analysis of some auditory characteristics. Technical report. Laboratory of sensory communication. Syracuse University, 1963.

Акустический институт АН СССР
Москва

Поступила в редакцию
25 мая 1965 г.