

РАЗЛИЧЕНИЕ ИНТЕРВАЛА ВРЕМЕНИ МЕЖДУ ДВУМЯ КОРОТКИМИ ЗВУКОВЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

Л. А. Чистович

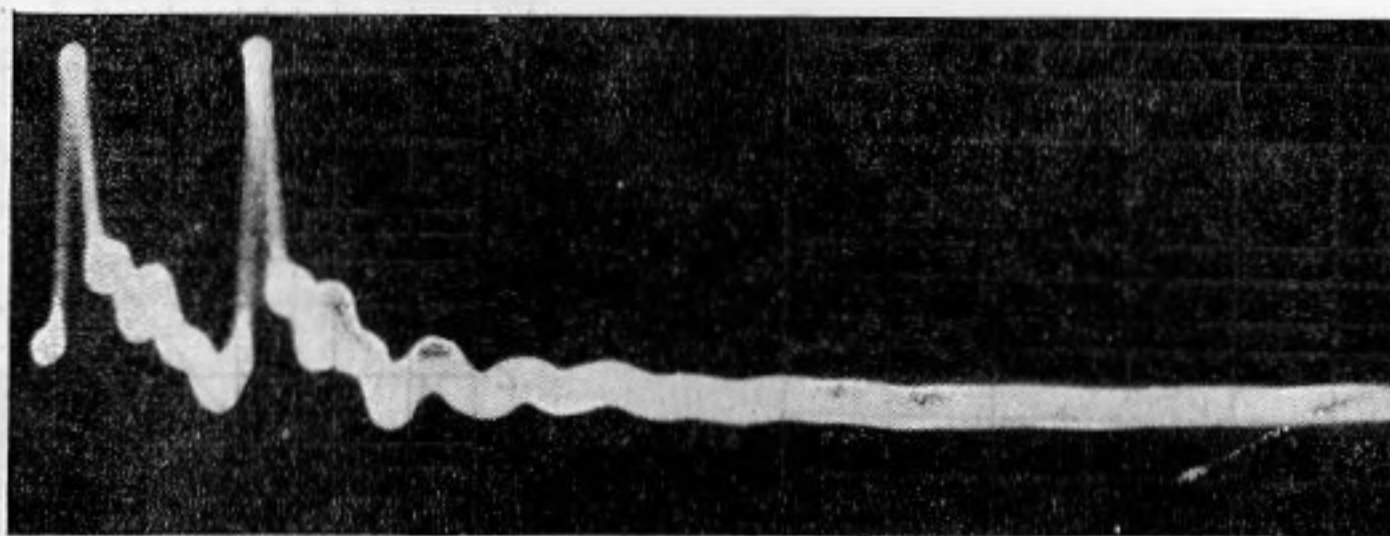
Исследовалась дифференциальная чувствительность к интервалу времени между короткими звуковыми импульсами в зависимости от исходной величины интервала. Обнаружено близкое совпадение данных различения интервала с данными различения частоты прерываний шума. Делается вывод, что в обоих случаях слуховая система использует один и тот же способ измерения сигналов.

За последние годы рядом работ было показано, что слуховая система характеризуется большой разрешающей способностью по времени и, кроме спектральных свойств сигналов, использует в широких пределах также и их временные свойства [1—5]. В частности, опыты с прерыванием шума показали, что человек отличает прерывистый шум от непрерывного при столь большой частоте прерываний, как 1000 раз в секунду [2, 6], причем может также различать одну частоту прерываний от другой [2, 7, 8]. С точки зрения современных электрофизиологических данных представляется мало вероятным, чтобы частота посылок шума, достигающая 1000 раз в секунду, могла быть воспроизведена последними нейронами слухового пути в форме соответствующей же частоты следования нервных импульсов (см. обзоры [9, 10]). Это приводит к предположению о том, что где-то на промежуточном уровне слухового пути имеются специальные образования, измеряющие частоту следования импульсов и передающие эти сведения дальше в закодированном виде, в форме уже не временных свойств нервной импульсации [11, 12]. В этой связи приобретает существенный интерес вопрос о том, что же именно (количество посылок шума за единицу времени или период повторения посылок) измеряется слуховой системой, когда человек различает одну частоту прерываний шума от другой. Мы попытались выяснить этот вопрос, исследуя различение интервалов времени между двумя короткими звуковыми импульсами в зависимости от исходной величины интервалов. Логично было предположить, что если различение частоты прерываний шума основывается на измерении времени (периода повторения посылок), то вид зависимости должен быть одинаковым как в случае шума, так и в случае пар импульсов.

При опытах нами применялись короткие звуковые импульсы, получаемые путем подачи на электродинамический телефон экспоненциальных электрических импульсов, вырабатываемых специальным генератором парных импульсов. Указанный генератор состоял из двух импульсных генераторов на тиратронах, обладающих одинаковыми параметрами. Запуск первого генератора осуществлялся при помощи пусковой кнопки. Импульс, вырабатываемый первым генератором, подавался на вход первого канала и одновременно на вход фантастрона. Параметры схемы фантастрона определяли время задержки срабатывания второго импульсного генератора. Это время (т. е. интервал между импульсами) могло изменяться ступенями при помощи магазинов емкостей и сопротивлений. Импульсы с выходов генераторов подавались на attenuаторы и затем на один электродинамический телефон. Фиг. 1 позволяет судить о форме

звуковых импульсов, создаваемых телефоном. Снимок получен путем фотографирования с экрана электронного осциллографа электрического процесса на выходе усилителя искусственного уха И.У-II. Интервал между импульсами равен 1 мсек.

Измерения дифференциальных порогов по интервалу проводились при шести исходных величинах интервалов (от 5,5 мсек до 196 мсек). Оба импульса имели одинаковую амплитуду (63 дб над средним порогом).



Фиг. 1

Испытуемый сравнивал стандартный сигнал (пара импульсов с фиксированным интервалом T) с переменным сигналом. Интервал между импульсами в переменном сигнале в 50% случаев равнялся T (совпадал со стандартом), а в 50% случаев равнялся $T + \Delta T$. Испытуемый сообщал, совпадает ли переменный сигнал со стандартным или отличается от него. Определение порога состояло из ряда серий, каждая из которых включала в себя 20 предъявлений стандарта и переменного сигнала. Величина ΔT постепенно уменьшалась от серии к серии. Измерение заканчивалось после того, как в двух-трех сериях подряд количество правильных ответов не превышало 12. Найденная зависимость числа правильных ответов от ΔT наносилась на график, за дифференциальный порог принималось то значение ΔT , которому соответствовало 75% правильных ответов. Существенным недостатком методики являлось то, что между предъявлением стандарта и переменного сигнала проходило много времени (до 10 сек), тратившегося на то, чтобы произвести нужные переключения магазинов емкостей и сопротивлений. Это должно было сказаться на величинах дифференциальных порогов.

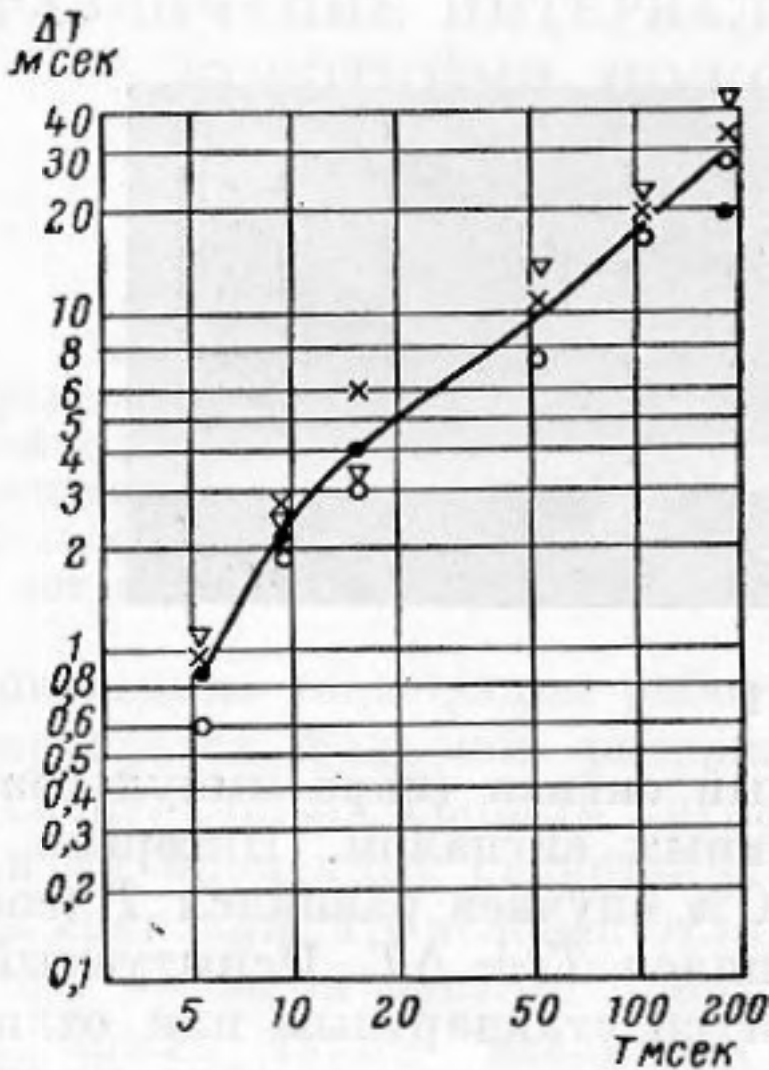
В опытах участвовали 4 испытуемых. Полученные данные представлены на фиг. 2, где показан минимально различимый прирост интервала между импульсами (ΔT) в зависимости от исходной величины интервала T . Различными значками обозначены значения дифференциального порога (ΔT), определенные у различных испытуемых. Кривая проведена по точкам, соответствующим средним значениям ΔT .

Для того, чтобы сравнить полученные данные с данными различения частоты прерываний шума, были вычислены значения частот f_1 и f_2 , соответствующих интервалам T и $T + \Delta T$. Далее определялась разность между полученными частотами $\Delta f = f_1 - f_2$. Найденные значения Δf нанесены на график фиг. 3 в виде функции от f_1 (кривая 4). Кривые 1, 2 и 3 взяты из работы Маубрея, Джебхарда и Байхема [8]. Кривая 1 представляет результаты измерений, сделанных Миллером и Тейлором [2], кривая 2 соответствует данным Поллака [7], а кривая 3 представляет данные Маубрея, Джебхарда и Байхема [8].

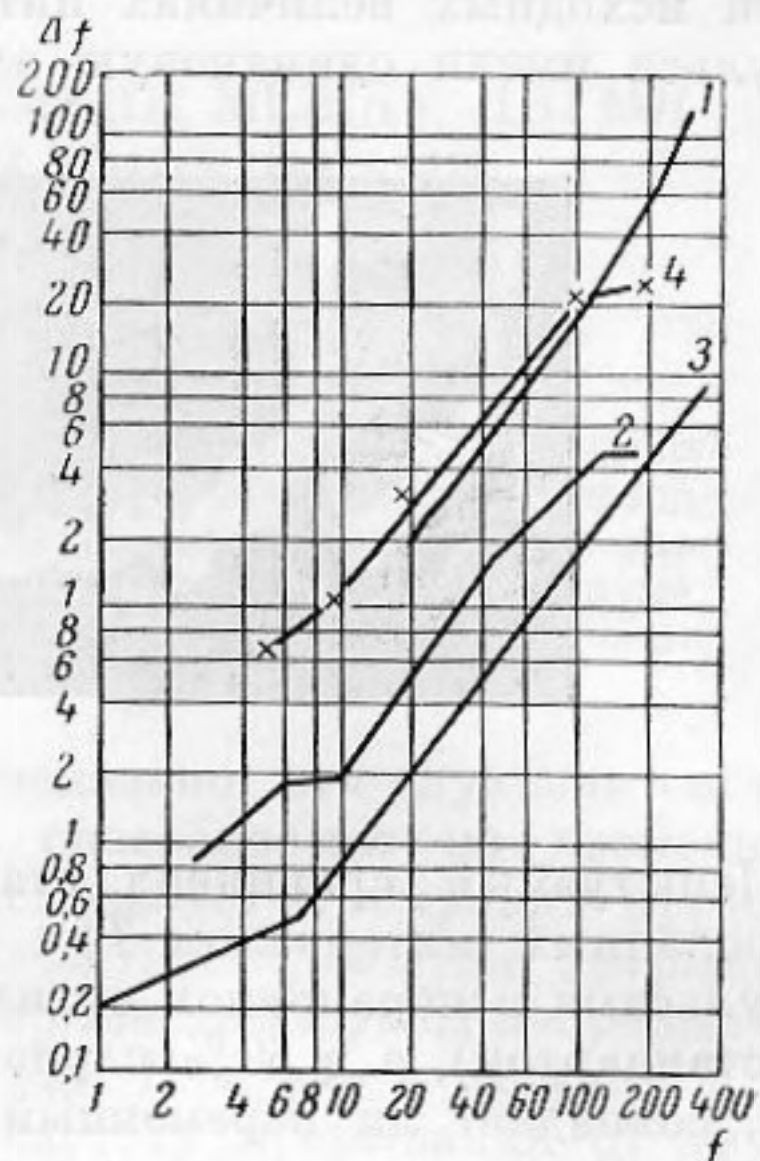
Можно видеть, что по своим характеристикам полученная нами кривая совершенно очевидно принадлежит к тому же семейству кривых, которые были получены в опытах по различению частоты прерываний шума.

По абсолютным величинам наши данные оказываются очень близкими к данным Миллера и Тэйлора, однако по своей форме наша кривая почти

буквально повторяет кривую Поллака. Это совпадение формы нашей кривой с кривой Поллака становится еще более отчетливым, если представить дифференциальные пороги в виде отношения $\Delta f/f$ (фиг. 4). Пунктирная кривая представляет данные Поллака, сплошная кривая соответствует найденным нами величинам $\Delta f/f$, уменьшенным в 5 раз.



Фиг. 2



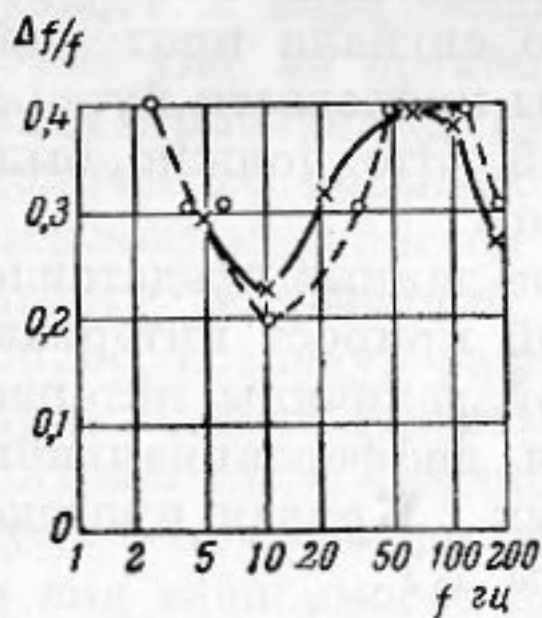
Фиг. 3

Из работ по различению частоты прерываний шума известно, что при разных частотах прерываний испытуемые пользуются различными способами определения частоты. Так, например, при малых частотах прерываний они просто считают число посылок за время предъявления сигнала. Опрос наших испытуемых показал, что только при больших интервалах между импульсами они оценивают длительность интервала как таковую. При малых интервалах сигналы различаются за счет разницы в их характере — большей или меньшей отчетливости прерывистости, разницы в хриплости звуков. Поэтому казалось интересным сравнить наши данные с данными по различению длительности тонов, где признаки такого рода, как хриплость или прерывистость, естественно, не могут быть использованы. На графике фиг. 5 нанесены данные Генри [13] по различению длительности тональной посылки (кривая 1) и наши данные по различению интервала между импульсами $\Delta T/T$ в зависимости от величины интервала (кривая 2).

Генри измерял дифференциальные пороги по длительности для тонов 500 гц, интенсивностью 50 дб над порогом.

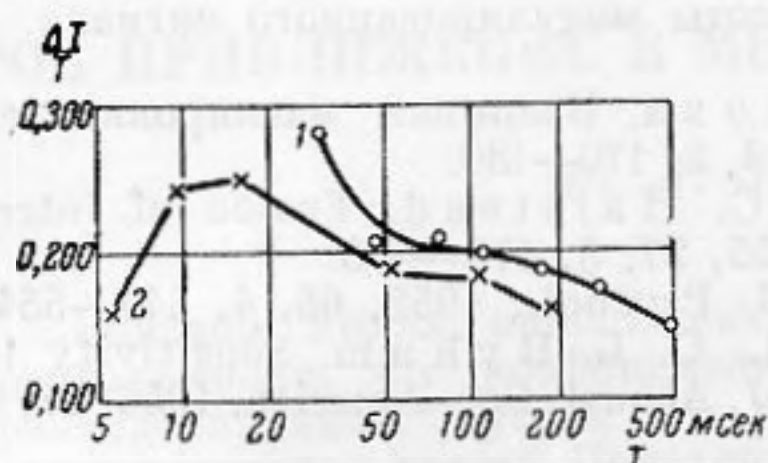
Можно видеть, что в области больших интервалов (длительностей) обе кривые идут параллельно и абсолютные значения порогов оказываются весьма близкими. При интервалах (длительностях) меньших 50 msec кривые начинают расходиться. К сожалению, значения дифференциальных порогов по длительности в области самых малых длительностей остаются неизвестными, так как измерения чрезвычайно затрудняются тем, что звуки начинают различаться также и по их тембру.

Результаты сопоставления данных различения интервалов между импульсами с данными различения частоты прерываний шума позволяют прийти к выводу, что в обоих случаях слуховая система выполняет одну

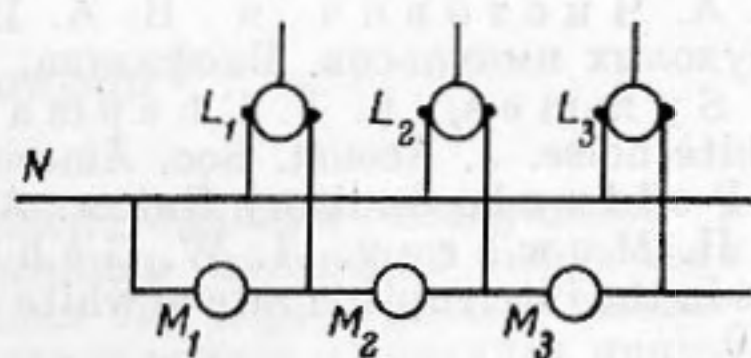


Фиг. 4

и ту же операцию — измеряет величину интервала времени между пачками нервных импульсов. Так как предельная различаемая частота прерываний шума достигает 1000 раз в секунду [2, 6], а минимальный различаемый интервал между импульсами составляет 1,0—1,5 мсек [5], приходится считать, что система нейронов, измеряющая величины интервалов, расположена на сравнительно низком уровне слухового пути.



Фиг. 5



Фиг. 6

Простейшая схема системы нейронов, способной осуществить измерение интервала между импульсами, была рассмотрена Ликлайдером [11]. Согласно этой схеме, изображенной на фиг. 6, импульсы нейрона N приходят по прямому пути к нейронам L_1, L_2, \dots, L_n и одновременно поступают в цепь временной задержки, состоящей из нейронов M_1, M_2, \dots, M_n . Условием возбуждения нейрона L_k является одновременность прихода к нему импульса по прямому пути с приходом импульса от нейрона M_k . Следовательно, в зависимости от величины интервала между импульсами будет возбуждаться тот или иной нейрон из группы L_1, L_2, \dots, L_n , т. е. временной рисунок будет трансформирован в пространственный рисунок распределения возбужденных элементов.

Естественно, что такая схема может производить измерения только в ограниченных пределах интервалов между импульсами. Нижний предел интервалов должен определяться величиной синаптической задержки в нейроне M_1 , т. е. должен быть равен примерно 1,0 мсек. Можно видеть, что это достаточно хорошо согласуется с данными о различении прерываний шума [2, 6], данными по восприятию амплитудной модуляции тонов [4], и данными по различению двух импульсов от одного [5].

Верхний предел измерения интервалов должен определяться величиной максимальной временной задержки импульса при прохождении его по цепи M_1, M_2, \dots, M_n . Электрофизиологические данные позволяют предполагать, что достаточно большие временные задержки могут осуществляться уже на самых низких уровнях слухового пути. Так, в кохлеарном ядре были обнаружены элементы, отвечающие с запаздыванием по времени порядка 50 мсек [14]. Так как согласно фиг. 5 совпадение дифференциальных порогов по интервалу с дифференциальными порогами по длительности тона начинается при интервале (длительности) в 50 мсек, можно думать, что специальный механизм, различающий прерывистый шум и последовательность коротких импульсов, действует только до этого интервала, тогда как дальше вступают в действие иные, более общие механизмы измерения времени. Нужно также отметить, что в пределах, примерно, 50 мсек два щелчка, при соответствующе подобранных интенсивностях воспринимаются еще как один хриплый звук. При больших интервалах восприятие хриплости пропадает [5].

Таким образом, полученные в настоящей работе данные не находятся в противоречии с моделью Ликлайдера. Они позволяют считать, что различение частоты прерывания шума действительно основывается на измерении периода повторения посылок и показывают, что измерение осуществляется примерно в тех пределах, которых следовало бы ожидать, исходя из модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. C. Mathes, R. L. Miller. Phase effects in monaural perception. *J. Acoust. Soc. America*, 1947, 19, 5, 780—798.
2. C. A. Miller, G. Taylor. The perception of repeated bursts of noise. *J. Acoust. Soc. America*, 1948, 20, 2, 171—182.
3. Л. А. Чистович. О различении сложных звуковых сигналов. Сообщ. II. Восприятие высоты сложного звука. *Пробл. физиол. акуст.*, 1955, 3, 27—33.
4. Л. А. Чистович. О различении высоты модулированного сигнала. *Биофизика*, 1956, 1, 5, 438—447.
5. Л. А. Чистович и В. А. Иванова. Взаимная маскировка коротких звуковых импульсов. *Биофизика*, 1959, 4, 2, 170—180.
6. D. Symmes, L. F. Chapman, W. C. Halstead. Fusion of intermittent white noise. *J. Acoust. Soc. America*, 1955, 27, 3, 470—473.
7. I. Pollack. Auditory flutter. *Amer. J. Psychol.*, 1952, 65, 4, 544—554.
8. C. H. Mowbray, I. W. Gebhard, C. L. Byham. Sensitivity to changes in the interruption rate of white noise. *J. Acoust. Soc. America*, 1956, 28, 1, 106—110.
9. Г. В. Гершун и. Механизмы деятельности органа слуха и некоторых других рецепторов в свете современных электрофизиологических исследований. *Усп. совр. биол.*, 1940, 13, 1, 1—38.
10. R. Galambos. Neural mechanisms of audition. *Physiol. Rev.*, 1954, 34, 3, 497—529.
11. J. C. R. Licklider. A duplex theory of pitch perception. *Experientia*, 1954, 7, F 4, 128—134.
12. J. C. R. Licklider. Auditory frequency analysis. *Information theory*. 1956, 253—268.
13. F. M. Henry. Discrimination of the duration of a sound. *J. Exptl. Psychol.*, 1948, 38, 6, 734—743.
14. R. Galambos. Response of acoustic system to clicks. *Amer. J. Physiol.*, 1949, 159, 3, 569.

Институт физиологии им. И. П. Павлова
Ленинград

Поступила в редакцию
10 февраля 1959 г.