

В. И. МЕДВЕДЕВ, Н. Д. БАГРОВА, А. А. САГАЛ

ВОСПРИЯТИЕ ВРЕМЕНИ В СЛУХОВОМ АНАЛИЗАТОРЕ ЧЕЛОВЕКА

(Представлено академиком В. Н. Черниговским 31 I 1973)

Одним из важнейших вопросов психофизиологии является отражение человеком временных свойств среды (¹, ²). Ключом к всестороннему исследованию является представление анализаторной системы как стохастической системы связи с помехами, памятью и т. п. (³). Для этого следует определить: 1) разрешающую способность анализатора и 2) его пропускную способность.

Первая задача, по существу, решается при помощи традиционного аппарата психофизики, рассматривающего приемы определения метрик сенсорного пространства по отношению к исследуемому параметру сигналов (², ⁴). Определяются: 1) натуральная шкала $S=F(X)$ параметра X , как основной психофизический закон гомеоморфного отображения $F: X \rightarrow S$ величины ощущения раздражения X на величину ощущения S , и f ; 2) величины дифференциальных порогов $L(X)$ чувствительности $f(X) = 1/L(X)$, определяющих «едва заметные» приросты $\Delta S = f(X) \Delta X$ величины ощущения S . $S(X)$ и $L^{-1}(X)$ можно рассматривать как аналитическое выражение, соответственно, интегративной или локальной (дифференциальной) сенсорной метрики, определяющее расстояние между заданными величинами раздражителей в пространстве их отражения (⁴, ⁵). Из сказанного следует, что оба типа величин связаны соотношением (², ⁵)

$$S(X) = \int_{x^0}^X \frac{\alpha \xi}{L(\xi)},$$

указывающим традиционные и современные пути их отыскания в функции исследуемых условий опытов (см. ниже).

Вторая задача решается: а) путем выражения информационной емкости анализатора при помощи опосредованных натуральных шкал сигналов (⁶) и б) путем непосредственной оценки способности анализатора к передаче информации в исследуемых условиях (⁷).

Таким образом, задача исследования отражения человеком временных характеристик сигналов в достаточно общем виде формализуется как задача отыскания локальной и интегративной сенсорной метрики временного континуума и оценки его информационной емкости. В данной работе исследовали отражение человеком длительностей тональных звуков в микроинтервалах времени от 50 до 700 мсек.

Психофизические методы. В психофизике редко ставится вопрос об априорном определении критериев оптимальности метода применительно к поставленной задаче работы.

Естественно придавать большое значение временной ошибке при исследовании восприятия времени при затухании процесса раздражения. Поэтому критерием оптимальности в данных условиях были выбраны минимальность и стабильность временной ошибки определения стимула*.

* На рис. 1, I показаны точка субъективного равенства (T) — математическое ожидание распределения величины сигнала для категории суждения $X=A$, порог Фехнера L_F — стандарт этого распределения, порог Мюллера — Урбана L_U — половина расстояния между математическими ожиданиями распределений для категорий суждения $X < A$ и $X > A$ (подробнее см. (⁴)).

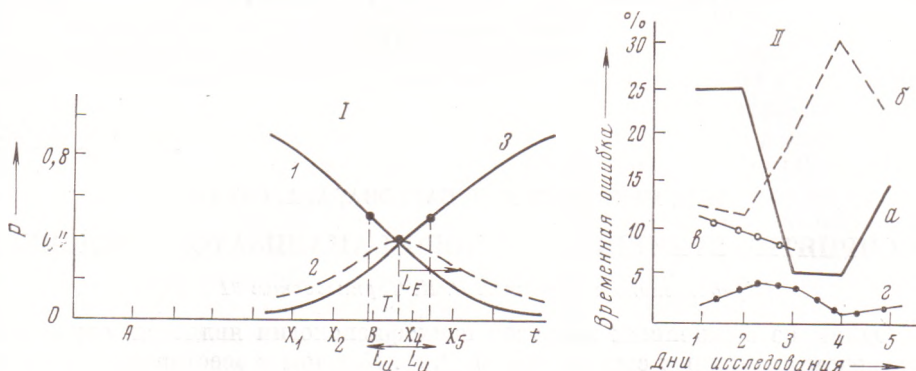


Рис. 1. *I* — психометрические функции в трехкатегорном методе постоянных разниц стимулов: *1* — для $X < A$, *2* — для $X = A$, *3* — для $X > A$. t — ось длительности сигналов, P — ось вероятности определения сигнала, A — стандарт, B — кратный стандарт, x_1 — x_5 — сигналы сравнения. Остальные обозначения см. в тексте. *II* — динамика временной ошибки по Постманну по опытным дням для методов: *a* — УФ, *б* — УМ, *в* — ПФ, *г* — ПМ. Усредненные данные

Были исследованы на оптимальность два основных пороговых метода средней ошибки (Y) и постоянных разниц стимулов (Π), и два надпороговых: фракционирования (Φ) и мультипликации (M)*. Таким образом, исследованы сочетания методов: УФ, УМ, ПФ, ПМ.

Сигналы и объем выборок. Тоновые послышки длительностью от 50 до 700 мсек. предъявляли парами: стандарт A — тон сравнения x . Для каждого стандарта $A=50, 100, 200, \dots$ мсек. подбирали 5–10 тонов сравнения x_i , следовавших равновероятно и независимо друг от друга. Опыты ставили на группах по 5–10 человек. Каждую опытную последовательность предъявляли на протяжении 3–6 опытных дней. Каждый опыт состоял в предъявлении 50–100 пар сигналов.

Обработка данных. Временную ошибку (по Постманну) определяли как $\delta = (A - T)$. Дифференциальные пороги определяли из психометрических кривых распределения величин сигналов. Шкалы величин ощущений $S = F(X)$ строили методом суммирования чисел дифференциальных порогов L при непрямом шкалировании и по величинам точек субъективного равенства T — при прямом шкалировании (⁴). Количество переданной информации определяли по формуле

$$I_{x,y} = H_x + H_y - H_{x,y},$$

где энтропии стимулов H_x , реакций H_y и совместную $H_{x,y}$ определяли как обычно (⁷).

Результаты. 1. Экспериментальное определение оптимального метода шкалирования. На рис. 1, *II* показана динамика временных ошибок для всех исследованных сочетаний психофизических методов. Легко видеть, что δ минимальна в методе ПМ и максимальна в традиционном методе шкалирования УФ: разница достигает $\Delta\delta \approx 183$ мсек. ($P < 0,01$). Вместе с тем, в методе ПМ ошибка минимальна и наиболее стабильна, составляя в среднем по опытным дням $\delta = 6,82 \pm 1,44$ мсек. В методе УФ она наименее стабильна: соответствующее среднее значение $\delta = -188,5 \pm 384,0$ мсек. В остальных методах величины заключены между указанными экстремальными значениями.

* Напомним (⁴), что каждый надпороговый метод сочетается с каким-либо пороговым и что в пороговых методах средней ошибки (иначе, установки — Y) испытуемый сам подбирает требуемую величину раздражителя, в постоянном методе (Π) — судит о величине стимула в заданных категориях суждения: $X < A$, $X = A$, $X > A$, в надпороговых методах фракционирования (Φ) — делит величину сигнала, мультипликации (M) — умножает ее (⁴).

Таким образом, метод ПМ был определен как оптимальный. Поэтому дальнейшие исследования были проведены с этим методом при мультипликации длительностей вдвое (условно обозначим как метод АВ-2) или втрое (метод АВ-3). Для сравнения далее приводятся данные, полученные при использовании только порогового постоянного метода (условно обозначенного как метод АХ).

2. Дифференциальная чувствительность к длительности звуков.

Как показывают данные рис. 2, во всех методах величина $L(X)$ линейно зависит от длительности стандартного звука. А. Необходимо отметить, что величины $L(X)$ существенно зависели от использованного метода: в методе АВ они были статистически значимо больше, чем в методе АХ (разница составляла в среднем $\Delta L = 12,2 \pm 1,0$, $P < 0,01$). Пороги зависели от кратности мультипликации: в методе АВ-3 они были больше, чем в методе АВ-2: разница равна $12,75 \pm 5,3$ мсек. ($P < 0,05$). Пороги L_F были значимо больше порогов L_U : разница равна $\Delta L_{F-U} = 26,35 \pm 8,68$ ($P < 0,01$). Наконец, величины порогов существенно зависели от индивидуальных испытуемых и не зависели от времени тренировки.

В соответствии с отмеченной выше линейной зависимостью $L(t) = at + b$ имело место постоянство отношения Вебера $W = L(t)/t = \text{const}$ в среднем для всех исследованных условий.

3. Натуральные шкалы длительностей звуков. На рис. 3 показаны шкалы длительностей, полученные всеми использованными методами в оптимальных условиях шкалирования*. Легко видеть, что опосредованные шкалы (шкалы протов), полученные суммированием чисел дифференциальных порогов из методов АХ, АВ-2, АВ-3, хорошо аппроксимируются выпуклыми кверху кривыми в функции длительности звуков. Прямые шкалы (шкалы хронов), построенные по точности мультипликации длительности в методах АВ-2, АВ-3, хорошо аппроксимируются прямыми вида $S = \alpha X$, где $\alpha = 0,02$ (ср. (1) и (5)).

И в этом случае были получены зависимости величины $S(X)$ от метода, кратности мультипликации и других факторов, аналогичные описанным выше для дифференциальных порогов.

4. Информационная емкость при восприятии длительностей звуков.

Как известно, опосредованные шкалы, дающие величины ощущений как сумму числа различимых градаций сигналов, позволяют определить

(опосредованную) пропускную способность системы $C = \frac{\log_2 \tau}{\log_2 \chi}$. Можно

видеть, что в исследованном диапазоне длительности 50–700 мсек. C звукового анализатора составляет величины порядка ≈ 5 б/с (бит/символ).

Вместе с тем, были определены количества актуально переданной информации $I_{X,Y}$ при распознавании длительностей тональных звуков. Как видно из рис. 4, величины $I_{X,Y}$ существенно зависят от метода исследова-

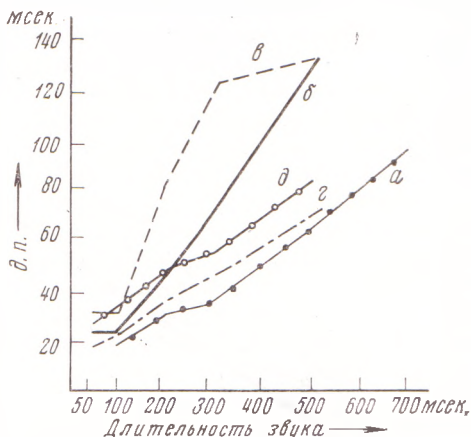


Рис. 2. Зависимость величин дифференциальных порогов (д.п.) от длительности звука в методах: а — АХ, б — АВ-2 по частотному распределению, в — АВ-3 по частотному распределению, г — АВ-2 — по огивам, д — АВ-3 по огивам

* Более подробное определение терминологии теории шкалирования см. (10).

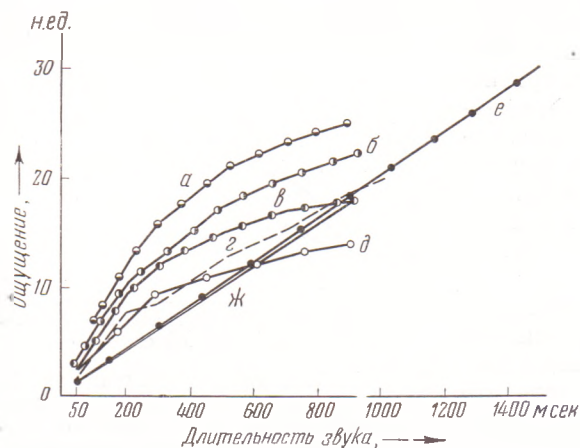


Рис. 3

Рис. 3. Натуральные шкалы протон (а-д), хронов (е, ж) в методах: а - АХ, б - АВ-2 по огивам, в - АВ-2 по частотному распределению, г - АВ-3 по огивам, д - АВ-3 по частотному распределению, е - АВ-3, ж - АВ-2

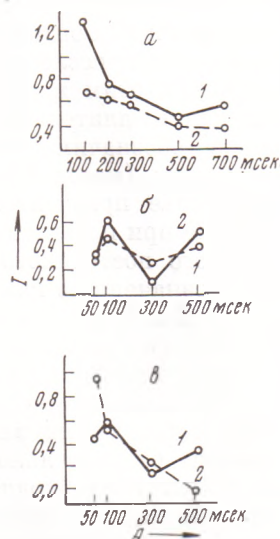


Рис. 4

Рис. 4. Зависимость количества переданной информации (I) при дифференцировании тональных звуков от длительности звука (A) в методах: а - АХ, б - АВ-2, в - АВ-3. 1 - данные первого опытного дня, 2 - данные 3-6 опытного дня

ния: в методе АВ они значительно меньше, чем в методе АХ. Небольшое число категорий суждения в классических психофизических методах ограничивает величины максимальной энтропии реакций $H_{Y, \max}$, не превышающей 1,585 б/с.

Приведенные данные показывают широкую вариабельность способности слухового анализатора человека к отражению длительностей тональных звуков в зависимости от условий исследования. Вместе с тем, они показывают, что в условиях оптимального метода шкалирования величина ощущения оказывается простой линейной функцией длительности звука (шкалы хронов). Существенно выяснить, не обязан ли спор между сторонниками логарифмической зависимости $\tau(t) = K_1(t/t_0)$ (по Фехнеру) и степенной зависимости $\tau(t) = K_2(t/t_0)^h$ (по Стивенсу) для других параметров слуховых и иных раздражителей особенностям психофизических методов исследования, применявшихся в этих случаях (¹, ², ⁴, ¹¹, ¹²).

Военно-медицинская академия
им. С. М. Кирова

Поступило
8 XII 1972

Институт эволюционной физиологии и биохимии
им. И. М. Сеченова
Ленинград

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ П. Фресс, Ж. Пиаже, Экспериментальная психология, М., 1966, стр. 241.
- ² С. С. Стивенс, Экспериментальная психология, М., 1951.
- ³ Д. Миддлтон, Введение в статистическую теорию связи, М., 1961.
- ⁴ J. P. Guilford, Psychometric Methods, N. Y., 1954.
- ⁵ В. И. Медведев, Н. Д. Багрова, А. А. Сагал, Тр. IV Всесоюз. конф. по нейрокибернетике, 1970.
- ⁶ H. Jochobson, J. Acoust. Soc. Am., 4, 463 (1951).
- ⁷ А. Файнтейн, Основы теории информации, М., 1960.
- ⁸ L. Postmann, J. Psychol., 21, 293 (1946); Am. J. Psychol., 60, 101 (1947).
- ⁹ С. Н. Ржевкин, Слух и речь в свете современных физических исследований, М.-Л., 1936.
- ¹⁰ Р. Льюис, Е. Галантер, Сборн. Психологические измерения, М., 1967, стр. 111.
- ¹¹ S. S. Stevens, Am. J. Psychol., 61, 343 (1948).
- ¹² С. Н. Гольдбурт, Механизмы слуха, «Наука», 1967, стр. 150.