УДК 62.506.2

С. А. УСЕНКО

К ВОПРОСУ О ВОСПРИЯТИИ ШУМОВ СЛУХОВЫМ АНАЛИЗАТОРОМ ЧЕЛОВЕКА

Цель настоящей работы — изучить определенные психофизические явления, связанные с восприятием шума слуховым анализатором человека, и построить их математическую модель. В частности, исследовался вопрос: однозначно ли частотный спектр полосового шума определяет его ощущение слуховым анализатором человека либо возможна такая ситуация, при которой два шума, имеющие различные частотные спектры, воспринимаются человеком как одинаковые.

Опыт проводился с помощью установки, описанной в работе [1].

Перед испытуемым была поставлена задача добиться полного субъективного равенства двух шумовых сигналов путем изменения в одном из них огибающей частотного спектра. Эксперименты осуществлялись в звукоизолированной камере отдельно с каждым испытуемым. Все они прослушивали сигналы моноурально и имели доступ к пульту управления. Временные соотношения в посылке шума выбирались следующим образом. Период нарастания и спада уровня шума был постоянным и равнялся 1 с,

а длительность временного интервала с постоянным уровнем (плато) — 3 с. Интервал между стандартными и сигнальным шумом составлял 1 с. Испытуемый имел возможность менять очередность подачи стимулов.

В опытах участвовали десять испытуемых с нормальным слухом. Была применена следующая методика экспериментов. Испытуемый должен был изменять физический параметр сигналов до наступления полного субъективного равенства ощущений данных сигналов. При этом сознание человека использовалось в качестве нуль-органа. Экспериментатор получал только ответы «да» или «нет», т. е. равны или не равны два сигнала. Перед произнесением определенного ответа испытуемый прослушивал необходимое, с его точки зрения, число посылок стимула.

Опыты проводились на четырех уровнях звукового давления 60, 70, 80 и 90 дБ. В первой серии экспериментов посредством четырех фильтров вырезались узкие полосы шумов в различных участках спектра. При помощи одного анализатора устанавливался постоянный сигнал с фиксированной огибающей частотного спектра. Этот сигнал считался эталонным, его физические параметры были неизменными. Спектральные характеристики другого сигнала изменялись в процессе эксперимента до тех пор, пока испытуемый не добивался полного совпадения звучаний. Опыт проводился при выключенном анализаторе спектра. Испытуемому была дана установка выравнивать шумы, каждый раз меняя последовательность ручек потенциометров анализатора. Сигналы включались экспериментатором, и испытуемый должен был давать ответы «да» при совпадении сигналов по звучанию и «нет» — в случае их несовпадения. Когда испытуемый говорил «да», т. е. ему удавалось добиться субъективного равенства двух сигналов, включался анализатор спектра. С его помощью производилось визуальное сравнение двух спектров шумов. Результат опыта во всех случаях был один и тот же: ощущение субъективного равенства двух сигналов возникало только в том случае, если их частотные спектры совпадали.

Данный эксперимент был повторен с подключением всех десяти фильтров анализаторов, характеристики которых перекрывают диапазон частот от 150 до 10 000 Гц. Уровни звукового давления оставались прежними. На этот раз перед испытуемыми стояла довольно сложная задача: при помощи десяти ручек произвести выравнивание двух сигналов. После некоторой тренировки испытуемые добивались этого.

Результаты опыта оставались неизменными, сигналы слышались одинаковыми только при совпадении их спектров. Приведенные данные позволяют сделать вывод, что слуховой анализатор человека реагирует на всю огибающую частотного спектра. Эта кривая однозначно определяет наше ощущение шума.

Математически интерпретируем описанный опыт, используя [2]. При восприятии сигнала слуховой анализатор человека реа-

лизует некоторую функцию F. Для нахождения вида этой функции рассмотрим уже известную систему преобразования сигналов — «черный ящик», на вход которого подается упорядоченная пара входных сигналов $<x_1x_2>$. В нашем случае — это различные полосы шума. Пары входных сигналов выбираются из некоторого множества H. Обозначим множество всех пар входных сигналов, допустимых в эксперименте, через W, которое является некоторым подмножеством декартова произведения $H \times H$. На предъявление некоторой пары испытуемый реагирует двоичным ответом: «да» или «нет». Следовательно, испытуемый реализует некоторую функцию F, определенную на множестве W и принимающую значения 0 и 1.

В общей ситуации функция F обладает следующими свойствами:

1) $F(x, x) = 1$ (рефлексивность);

2) если $<x_1, x_2> \in W$ и $F(x_1, x_2) = 1$, то $<x_2, x_1> \in W$ и $F(x_2, x_1) = 1$ (симметричность);

3) если $<x_1, x_2> \in W$, $<x_2, x_3> \in W$, $F(x_1, x_2) = 1$, $F(x_2, x_3) = 1$, то $<x_1, x_3> \in W$, $F(x_1, x_3) = 1$ (транзитивность).

Как показывает эксперимент, в интересующей нас ситуации функция F такова, что $F(x_1, x_2) = 1$, если и только если $x_1 = x_2$. Следовательно, условия 1)—3) выполняются.

Пусть H_0 — подмножество H, состоящее из тех x, для которых существует хотя бы один y такой, что $F(x, y) = 1$. В этом случае функция F определяет на множестве H_0 некоторое отношение эквивалентности. Множество W при этом является декартовым произведением $H_0 \times H_0$.

Как показано в [2], если функция F определена на декартовом произведении $W = H_0 \times H_0$, принимает значения 0 и 1 и удовлетворяет условиям 1)—3), то существуют некоторое множество G и функция $\varphi : H_0 \to G$ такая, что

$$F(x_1, x_2) = L(\varphi(x_1), \varphi(x_2)), \tag{1}$$

где L — характеристическая функция диагонали квадрата:

$$L(x, y) = \begin{cases} 0 \text{ при } x \neq y, \\ 1 \text{ при } x = y. \end{cases} \tag{2}$$

Таким образом, выражения (1), (2) являются адекватным математическим описанием восприятия полосовых шумов слуховым анализатором человека.

Наше множество G разбивается на классы одноэлементных множеств $\{x\}$ и представляет собой множество субъективных ощущений. Под ощущением мы понимаем некоторый класс эквивалентности в множестве физических стимулов. В исследуемой ситуации каждый класс эквивалентности состоит из одного элемента.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Усенко С. А., Черкашенко Н. И.* Формирователь полосовых шумов. — В сб.: Проблемы бионики. Вып. 12. Харьков, «Вища школа», 1974, с. 20—21.
2. *Майстровская Л. М., Ольховский Ю. Г., Шабанов-Кушнаренко Ю. П.* О некоторых бинарных отношениях. — В сб.: Проблемы бионики. Вып. 9. Харьков, Изд-во Харьк. ун-та, 1972, с. 37—40.