

В. А. САПРЫКИН, С. В. КОВТУНЕНКО, И. В. БЕККЕР,
Е. С. ДМИТРИЕВА, В. И. КОРОЛЕВ

**ИНВАРИАНТНОСТЬ ВОСПРИНИМАЮЩИХ СВОЙСТВ
СЛУХОВОГО АНАЛИЗАТОРА ДЕЛЬФИНА
ПРИ ДИФФЕРЕНЦИРОВКЕ ТОНАЛЬНО-ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ**

(Представлено академиком Е. М. Крепом 20 XII 1974)

Одной из проблем современной психофизики является поиск преобразований стимула, оставляющих воспринимающие свойства анализаторной системы неизменными. В данной работе исследуется дифференциальная чувствительность слухового анализатора дельфина (с.а.д.) относительно доплеровских преобразований сигнала.

К вопросу оценки дифференциальной слуховой чувствительности дельфинов обращались ряд авторов (¹⁻³). В этих исследованиях рассматривалось только преобразование стимула по частоте. Как следует из полученных результатов, оно меняет дифференциальную чувствительность слуха дельфина. В работах (⁴⁻⁶) доказана инвариантность порогового слухового восприятия человека относительно сдвиговых и доплеровских преобразований сигнала. Последнее дает основание полагать, что и при дифференцировке тонально-импульсных сигналов будет иметь место инвариантность с.а.д. к доплеровскому эффекту.

Акустический сигнал от движущихся объектов претерпевает определенные изменения в точке приема. Это преобразование известно в физике как доплеровский эффект. На сигнал $f(t)$ доплеровское преобразование T действует мультипликативно, т. е.

$$Tf(t) \rightarrow \sqrt{\alpha} f(\alpha t), \quad (1)$$

где α характеризует растяжение или сжатие сигнала. Параметр α меняется от нуля до бесконечности; при $\alpha=1$ доплеровский эффект отсутствует.

Поскольку эволюция слуховой системы дельфина происходила в гидроакустической среде, где эффект Доплера значителен, то можно предположить, что дифференциальные свойства слухового анализатора остаются инвариантными к этим изменениям. В связи с этим в данной работе в качестве аргумента задания сигнала был выбран параметр α . Действие доплеровского эффекта таково, что структура сигнала остается неизменной (с точностью до временного масштаба). Например, для тонально-импульсного сигнала сохраняется количество волн. Следовательно, при измерении дифференциальной чувствительности слуховой системы дельфина методом $A-x$ (⁷) целесообразно предъявлять второй импульс по правилу (1). Для тонально-импульсного сигнала это означает изменение частоты, длительности и амплитуды, в то время как количество волн и энергия сохраняются постоянными.

Как было указано, параметр α действует мультипликативно, а при графическом изображении применяется аддитивная симметрия, поэтому желательно мультипликативные изменения преобразовать в аддитивные. Это достигается использованием логарифмического масштаба по оси абсцисс.

Таким образом, требуется проверить гипотезу об инвариантности дифференциальной чувствительности дельфина относительно доплеровских

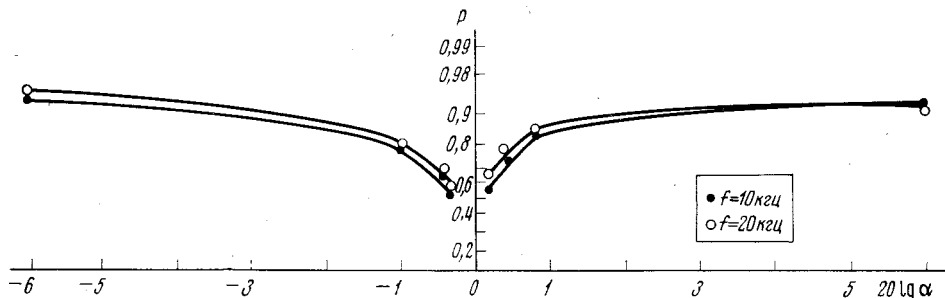


Рис. 1. Зависимость вероятностных характеристик дифференциальной чувствительности с.а.д. от параметра сжатия и расширения (α) сигнала

преобразований и симметричности вероятности ответов в логарифмическом масштабе. Тем самым будет доказана целесообразность введения новой психоакустической характеристики стимула — параметра α .

Эксперименты проводились на основе двигательного-пищевых условных рефлексов на дельфинах *Tursiops truncatus*. У животных вырабатывалась условно-рефлекторная реакция на стимул, включающий в себя два тональных импульса: опорный и изменяющийся по правилу (1). Интервал между импульсами поддерживался постоянным и равным 20 мсек. В качестве опорного выбирался сигнал, состоящий из 32 волн. Опыты проводились на двух частотах: 10 и 20 кГц. Звуковое давление на этих частотах составляло 75 и 78 дБ. Второй импульс при $\alpha=1$ совпадал с первым. Экспериментально были определены границы изменения параметра $20 \lg \alpha$ от -6 до 6. Отрицательным стимулом являлось излучение двух одинаковых сигналов ($\alpha=1$), положительным $\alpha \neq 1$. В 50% предъявлений имел место отрицательный стимул, в остальных случаях $20 \lg \alpha=6; -1; -0,42; -0,3; 0,2; 0,42; 0,8; 6$. Вероятность правильного различения $A-x_i$ стимула оценивалась как отношение правильных ответов к общему числу предъявлений этого стимула.

На рис. 1 показаны осредненные по всем опытам данные, которые позволили построить вероятностные характеристики дифференциальной чувствительности с.а.д. в зависимости от параметра α . По оси абсцисс отложено $20 \lg \alpha$, а по оси ординат дан масштаб, преобразующий интегральную гауссовскую кривую в прямую линию. Как видно из этого рисунка, полученные вероятностные характеристики слуховой системы дельфина для исследуемых частот инвариантны относительно параметра α (доплеровских преобразований). Имеет место также симметрия вероятностных характеристик в логарифмическом масштабе относительно сжатия ($\alpha > 1$) и расширения ($\alpha < 1$) сигнала.

Можно предположить, что инвариантность дифференциальной чувствительности по параметру α будет наблюдаться в большем частотно-временном диапазоне слухового восприятия дельфина.

Институт эволюционной физиологии
и биохимии им. И. М. Сеченова
Академии наук СССР
Ленинград

Поступило
2 XI 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ D. W. Jacobs, J. Acoust. Soc. Am., v. 52, 696 (1972). ² А. П. Абрамов и др., Тез. докл. VIII Всесоюз. акуст. конфер., М., 1973. ³ М. Н. Сухорученко, Физиол. журн. СССР, т. 59, 1205 (1973). ⁴ В. А. Сапрыкин, А. А. Сагал, Биофизика, т. 17, 503 (1972). ⁵ В. А. Сапрыкин, А. А. Сагал, ДАН, т. 208, № 2, 490 (1973). ⁶ И. К. Борисов, С. В. Ковтушенко, В. А. Сапрыкин, Тр. V Всесоюз. школы семинара по статистической гидроакустике (СГ-5), Киев, 1974. ⁷ J. D. Harris, J. Acoust. Soc. Am., v. 24, 750 (1952).