

Бинауральный слух

(Wayne Staab; hearinghealthmatters.org)

"Природа дала людям один рот и два уха, чтобы мы в два раза больше слушали, нежели говорили сами."

Эпиктет (философ-стоик)

Жизненный опыт подсказывает, что это всего лишь несбыточная мечта, тогда как с точки зрения психоакустики это почти верно. Слуховая система использует незначительные различия времени (и фазы), интенсивности и спектрального состава акустических стимулов, поступающих в правое и левое ухо, позволяя мозгу воспринимать акустическое пространство во всей его полноте.

Дополнительную роль играют такие факторы, как маскировка, поглощение и отражение звуков в окружающей среде, а также практическое значение услышанного. Восприятие звуков двумя ушами (бинауральное восприятие) – результат взаимодействия большого числа переменных.

Стимуляция ушей

Существует несколько вариантов поступления звука в уши (рис. 1):

- **Моноотическое** – поступление одного сигнала в одно ухо, как бывает при использовании одного наушника
- **Диотическое** – поступление одного сигнала в два уха, как бывает при прослушивании монофонической записи в двух наушниках
- **Дихотическое** – собственная система звукоусиления для каждого уха, как бывает при использовании двух слуховых аппаратов или, до некоторой степени, при прослушивании стереофонической записи в стереонаушниках
- **Бинауральное** – этот термин чаще всего используется для описания чего-то, связанного с двумя ушами. Если же речь идет о чем-то, связанном с одним ухом, применяется термин "монауральное".

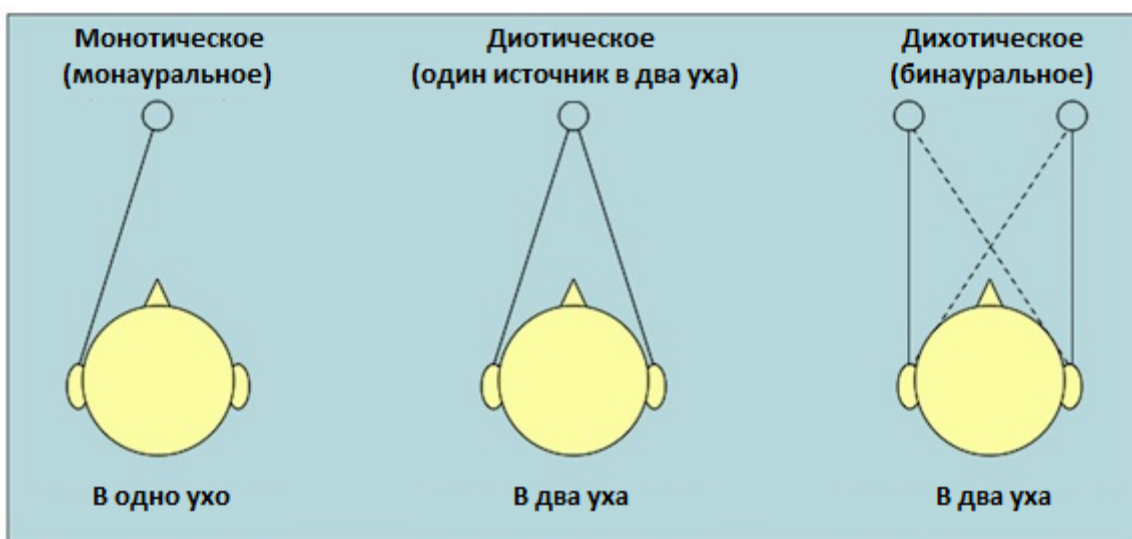


Рис. 1: Варианты поступления усиленного звука в уши при использовании слуховых аппаратов или наушников. В **моноотическом** режиме сигнал направляется в одно из ушей, даже если источников сигнала несколько. В **диотическом** режиме одинаковый звук поступает в оба уха. В **дихотическом** режиме в каждое ухо подается различная звуковая информация. Если уши не изолированы от окружающей среды (как это происходит в норме), это приводит к **бинауральному** слуху, при котором информация от источников звука попадает в оба уха.

В норме звуковые волны, попадающие в правое и левое ухо, различаются по следующим параметрам:

- Интенсивность
- Время поступления соответствующих участков звуковой волны
- Спектральный состав

Практические преимущества слушания двумя ушами

Практические преимущества бинаурального слуха проявляются преимущественно в обстановке, связанной с наличием звуковых помех. Механизмы бинаурального слуха включают в себя следующие феномены:

- Эффект тени головы
- Локализация звука
- Подавление шума
- Разность уровней маскировки
- Бинауральная суммация

Эффект тени головы

Под тенью головы подразумевается снижение интенсивности звука при его распространении с одной стороны головы к другой стороне (рис. 2). Распространение звука от одного уха к другому сопряжено, по крайней мере, с тремя явлениями:

1. Изменение силы сигнала
2. Изменение спектрального состава сигнала
3. Изменение времени поступления (и, соответственно, фазы) сигнала.



Рис. 2: Эффект тени головы связан с нахождением головы на пути распространения звука. При этом интенсивность высокочастотных звуков, имеющих короткую длину волны, может снизиться на 15 дБ, тогда как низкочастотные звуки, характеризующиеся большей длиной волны, огибают голову, практически не ослабевая.

Изменение уровня интенсивности

Это явление связано с азимутом – направлением, из которого поступает звук. Если говорить о речи в целом, то ослабевают преимущественно высокочастотные звуки. Длина их волны меньше размеров головы, поэтому они не могут беспрепятственно ее обогнуть. Тень головы может привести к ослаблению высокочастотного сигнала на 15 дБ. Длина волны низкочастотных звуков,

напротив, больше размеров головы, поэтому они свободно огибают ее (эффект тени головы невелик или отсутствует).

Разница в уровне спондеев (двухсложных слов с равным ударением на оба слога) "ближним" и "дальним" ухом может достигать 6,4 дБ (рис. 3) [1].

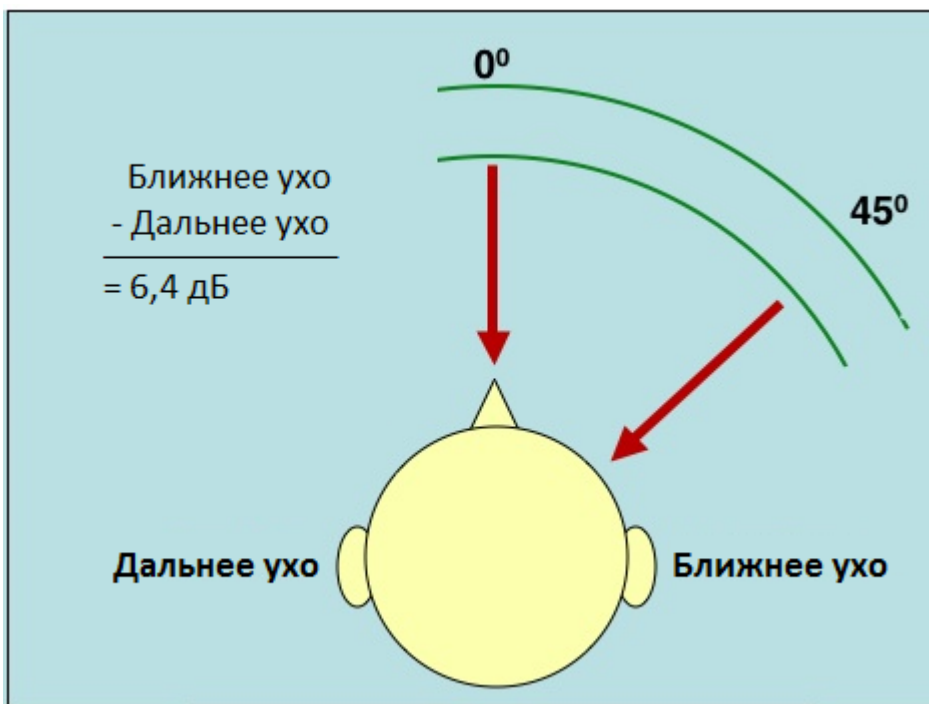


Рис. 3: Влияние тени головы на уровень интенсивности речевого сигнала у ближнего и дальнего уха при расположении источника сигнала под углом 45° к слушателю.

Предположим, что слева от слушателя находится источник нежелательного сигнала, а справа – источник речи (рис. 4). Предположим также, что уровень их интенсивности одинаков, т.е. отношение сигнал-шум (ОСШ) без учета тени головы равно 0 дБ.

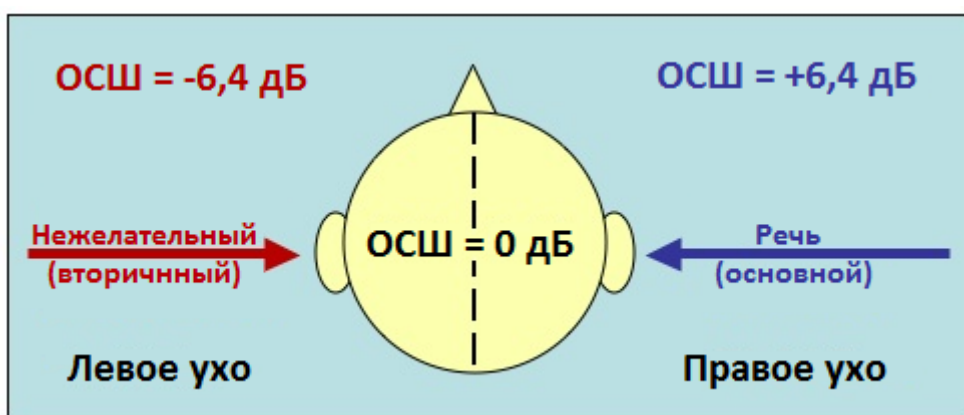


Рис. 4: Без эффекта тени головы отношение сигнал шум (ОСШ) для обеих ушей составило бы 0 дБ. Благодаря эффекту тени головы ОСШ слева равно -6,4 дБ, ОСШ справа равно +6,4 дБ.

Благодаря эффекту тени головы, нежелательный сигнал ослабевает на 6,4 дБ по пути к правому уху, тогда как уровень речевого сигнала справа остается неизменным. В результате эффективное отношение сигнал шум (т.е. соотношение основного и вторичного сигналов) для правого уха составит 6,4 дБ. Для левого уха наблюдается обратная картина: основной сигнал ослабевает на

6,4 дБ (т.е. становится равным 0 дБ), а вторичный сигнал остается неизменным. В результате ОСШ слева составит -6,4 дБ (рис. 5). Иными словами, разница эффективного отношения сигнал-шум между правым и левым ухом достигает почти 13 дБ [2].

Неблагоприятные последствия эффекта тени головы представлены на рис. 5. Такая ситуация возникает при поступлении шума со стороны лучше слышащего, или снабженного слуховым аппаратом уха, тогда как речь поступает со стороны хуже слышащего, или не снабженного аппаратом, уха.

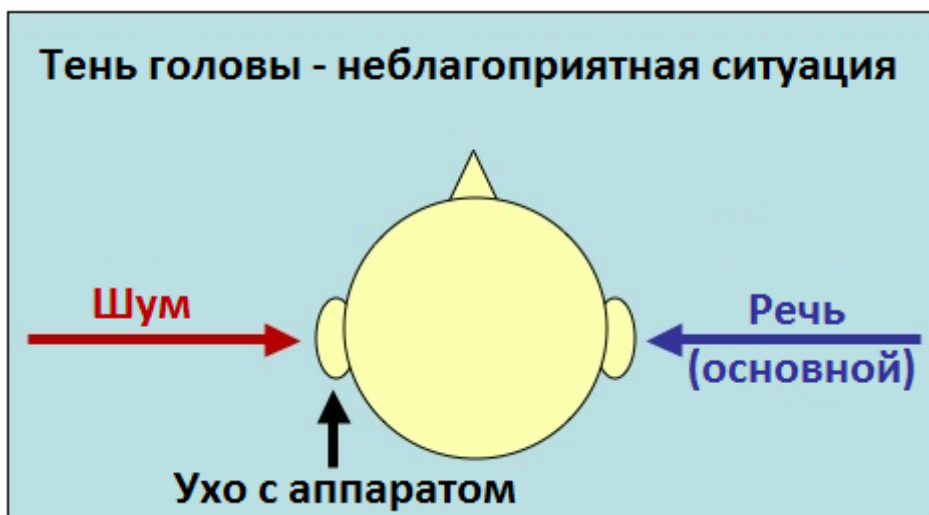


Рис. 5: Неблагоприятная ситуация, обусловленная тенью головы, когда полезный сигнал поступает со стороны хуже слышащего уха, а шум – со стороны лучше слышащего уха. В таком случае преимущественным сигналом становится шум.

Эффект тени головы всегда присутствует в повседневной жизни, т.к. одно из ушей почти всегда расположено лучше по отношению к полезному сигналу, т.е. с его стороны отношение сигнал-шум более высокое. Это означает, что данное ухо получает больше полезной информации, чем противоположное ухо. Таким образом, даже при бинауральном слухе, преимущество постоянно переходит от одного уха к другому, в зависимости от того, как расположен слушатель. Carhart (1967) писал, что мы сталкиваемся с таким "одноухим" восприятием гораздо чаще, чем можно было бы предположить.

Временами, особенно в шумной обстановке, мы пытаемся уменьшить маскировку, направляя одно из ушей в сторону полезного звукового сигнала и усиливая за счет этого эффект тени головы. Это пример повышения ОСШ и облегчения восприятия за счет преимущественного использования одного уха. Однако этот метод не всегда эффективен.

Изменение спектрального состава

Спектр звука представляет собой графическое отображение распределения энергии данного звука по частотной шкале. На рис. 6 представлены примеры спектров трех гласных звуков [3]. Спектр звука меняется под воздействием расстояния, направления, дифракции сигнала за счет тени головы и уровня звука, поступающего в уши.

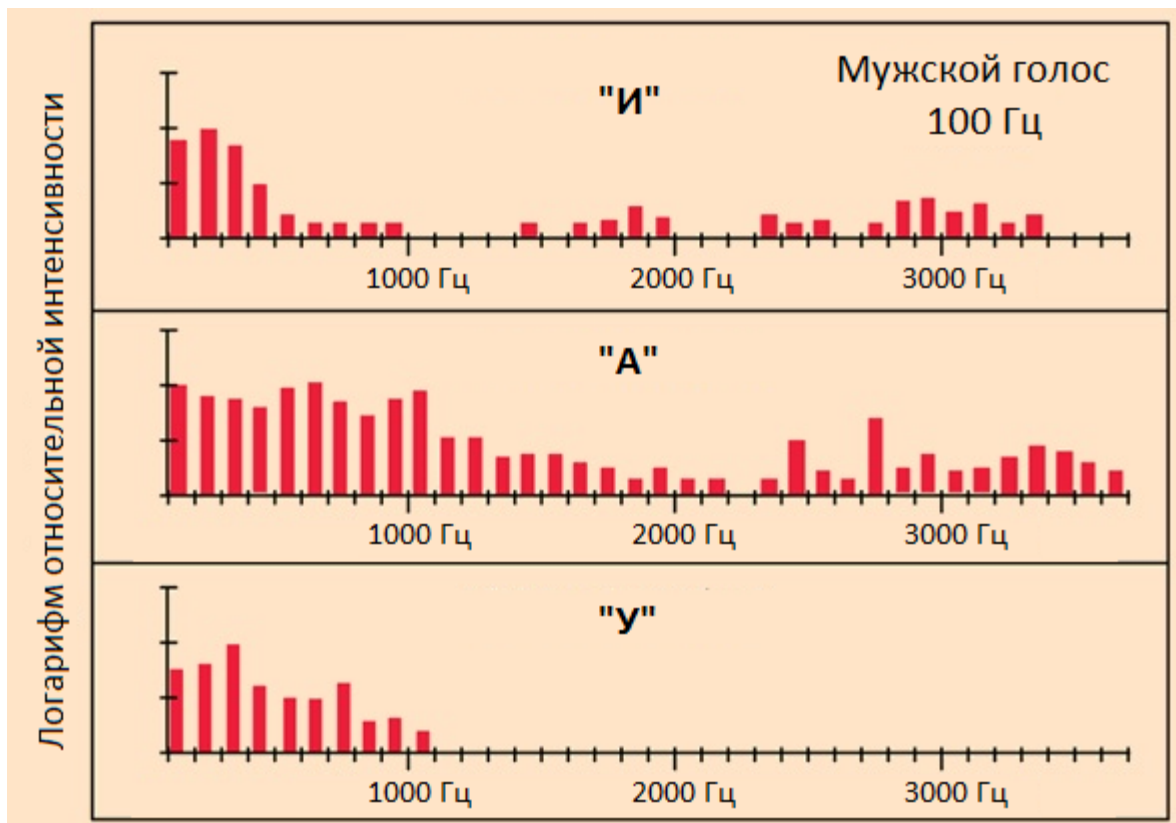


Рис. 6: Спектры трех гласных звуков, демонстрирующие характерные различия распределения энергии по частотам.

При изменении расположения источника звука спектральный баланс между ушами меняется. Это происходит из-за дифракции звуков под воздействием препятствия (головы). Любопытно, что упомянутые изменения спектра дают дополнительную информацию, повышающую эффективность бинаурального слуха. Это может быть связано со способностью человека производить кросс-корреляцию поступающей информации, сопоставляя ее с каждой отдельной группой входящих сигналов [4]. Наиболее очевидно бинауральные преимущества проявляются в присутствии помех.

Литература

1. Tillman, T, Kasten, R., and Horner, J. Effect of head shadow on reception of speech. Paper for 1963 Convention of American Speech and Hearing Association. Abstract in ASHA. 5:778, 1963
2. Carhart, R. (1967). Binaural reception of meaningful material. In A.B. Graham (Ed.) Sensorineural Hearing Processes and Disorders, Brown and Co., Boston, MA
3. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/sound/vowel.html>
4. Cherry, E.C., and Sayers, B. McA. (1956). Human 'cross-correlator' – a technique for measuring certain parameters of speech perception. J. Acoust. Soc. Am., 28, 889