

## Часть 7 Слуховая маскировка 2. Бинауральное маскирование

Ирина Алдошина

Как было отмечено в предыдущей статье - эффект маскировки связан с процессом взаимодействия сигналов, что приводит к изменению слуховой чувствительности к маскируемому сигналу (maskee) в присутствии маскирующего (masker).

Среди основных эффектов, связанных со слуховой маскировкой, можно выделить следующие:

- одновременное моноуральное маскирование;
- временное (неодновременное) маскирование (вперед и назад);
- центральное (бинауральное) маскирование;
- бинауральное демаскирование.

Первые два были уже рассмотрены, перейдем к анализу следующих.

Бинауральность слуховой системы обеспечивает не только локализацию в пространстве, повышение порогов чувствительности и др., но и позволяет получить интересные эффекты маскировки, которые вызывают сейчас очень большой научный интерес, поскольку позволяют судить о работе центрального нервного процессора, и могут найти большое прикладное применение.

Обычная маскировка происходит тогда, когда и маскируемый, и маскирующий сигналы поступают в одно и то же ухо, однако эффект маскировки возникает даже тогда, когда masker и исследуемый сигнал подаются в разные уши. Этот процесс называется *центральным (или бинауральным) маскированием*.

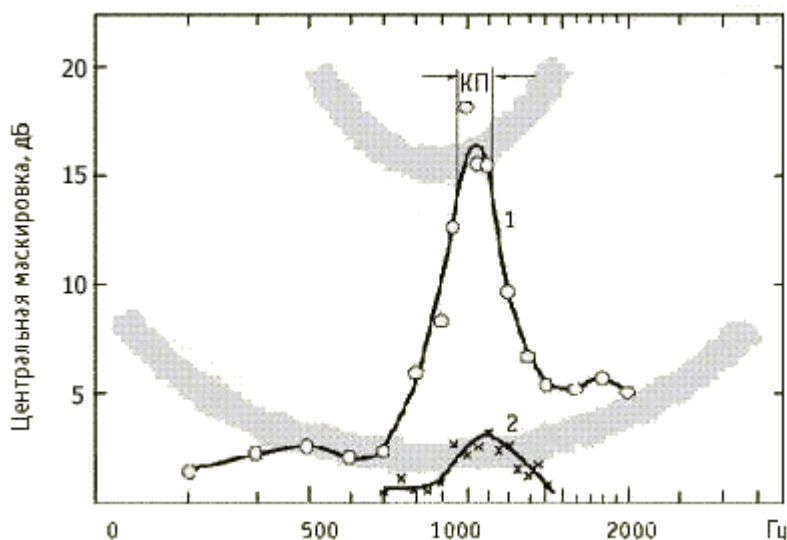
Такое влияние maskera, вероятнее всего, обусловлено взаимодействием maskera и исследуемого сигнала на уровне центральной нервной системы, где имеются специальные "бинауральные" нейроны, которые проводят сравнение сигналов от обеих ушей.

Центральное маскирование в некотором отношении подобно рассмотренному ранее маскированию при моноуральном слухе, хотя имеются и значительные отличия.

В целом, величина сдвига порога, вызванная центральным маскированием, гораздо меньше, чем при моноуральном маскировании, и проявляется в большей степени для звуков высокой частоты, чем низкой.

Степень маскирования становится значительной, только если время воздействия maskera не менее, чем 200 мс.

Особый интерес представляет частотная зависимость центрального маскирования. Наиболее выраженное



маскирование выявляется, когда masker и исследуемый тон близки по частоте. Частотная зависимость отражена на рис. 1, на котором masker в виде тона 1000 Гц подают на уровне интенсивности 60 дБ в одно ухо, а маскируемый сигнал \* в другое. Маскирование наиболее выражено в небольшом диапазоне частот, прилегающих к частоте maskera. Этот частотный диапазон совпадает с шириной критических полос слуха.

Рис. 1

Пик маскирования симметричен до 60 дБ (в отличие от моноурального маскирования), но при уровне выше 70 дБ

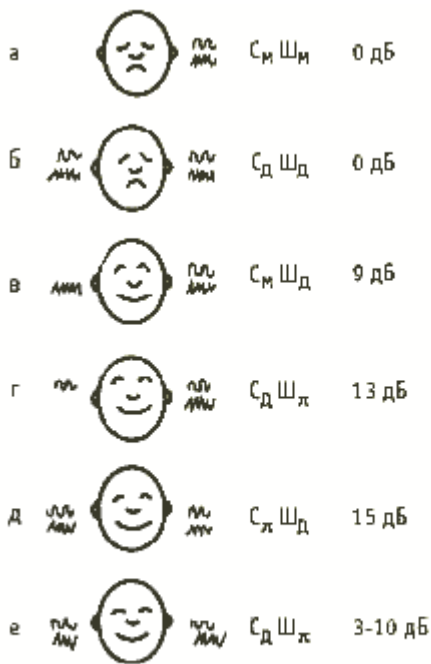


Рис. 2 Различия в уровнях маскировки при разных условиях подачи сигнала и шума

систем звуковоспроизведения, когда сигналы, поступающие на разные каналы слуховой системы, отличаются друг от друга.

### Бинауральное демаскирование

Наибольший интерес в настоящее время вызывает эффект "бинауральной демаскировки", которому посвящены многочисленные статьи, доклады на конференциях, дипломы и диссертации.

Эффект это проявляется в таком загадочном явлении: на фоне общего разговора (шума) можно "выслушать" интересующий слушателя разговор. Этот эффект получил название "эффект вечеринки" (Cocktail Party Effect).

Многочисленные исследования показали, что в основе этого явления лежит чувствительность к сдвигу фаз между сигналами при бинауральном слушании на частотах ниже 1500 Гц.

Бинауральное преимущество при маскировке значительно возрастает при стимуляции обеих ушей двумя различающимися стимулами. Такой способ подачи сигналов получил название дихотического. Результаты были исследованы как для тональных, так и для речевых сигналов.

Рассмотрим несколько возможных вариантов подачи сигнала и шума на два слуховых приемника (рис.2).

Представим типичный эксперимент по маскировке, в котором сигнал (С) маскируется шумом (Ш), причем уровень шума подобран таким образом, что он полностью маскирует полезный сигнал, например речь. Можно, пользуясь стереотелефонами, подать эту комбинацию на одно ухо СМШМ (рис.2а), можно подать на оба уха СдШд (рис.2б) \* в обоих случаях сигнал будет невозможно услышать на фоне шума. (Знак "м" означает моноуральную подачу, т.е. на одно ухо; знак "д" \* дихотическую подачу, т.е. на два уха).

Если послать в одно ухо идентичный шум, а в другое \* сигнал и шум (такой вариант СМШд представлен на рис. 2в), то тогда маскированный до этого сигнал вновь будет услышан (сигнал как бы освобождается от шума, его уровень субъективно повышается на 9 дБ).

Этот эффект и называется *бинауральной демаскировкой*.

При этом шум и сигнал локализируются в разных местах головы: шум \* в середине головы, сигнал \* ближе к одному уху. Получается, что шум и сигнал слышны в разных местах, и сигнал сразу обнаруживается из-за разной субъективной локализации.

уже появляется асимметрия.

На рис. 1 показано также, что наибольшее маскирование происходит при пульсирующем маскере и исследуемом сигнале, (кривая 1), нежели при постоянно включенном маскере и пульсирующем в другом ухе сигнале (кривая 2). (Оба сигнала включаются и выключаются одновременно). Такие результаты получены при исследовании центральной маскировки, в разных экспериментах и у разных обследуемых.

Кроме того, по мере повышения уровня интенсивности маскера степень центральной маскировки нарастает только в случае подачи пульсирующего маскера и пульсирующего сигнала, тогда как при использовании постоянного маскера и пульсирующего сигнала степень маскировки сохраняется в пределах 1 и 2 дБ, независимо от уровня интенсивности маскера.

Поскольку реальная речь и музыка представляют собой постоянно изменяющиеся во времени (пульсирующие) процессы, можно предположить, что эффекты бинауральной маскировки особенно сильно оказывают свое влияние при прослушивании стереофонических и пространственных

По-видимому, что-то аналогичное происходит и на вечеринке: шум поступает с разных сторон, а нужный сигнал с одной стороны. Поворачивая голову, слушатель находит положение, при котором в ему оба уха поступает почти одинаковый шум. Тогда шумовой источник он слышит точно в центре, а сигнал локализуется в другом месте ближе к тому уху, через которое он поступает, поэтому сигнал начинает хорошо прослушиваться. Этот механизм срабатывает только при наличии в спектре низкочастотных составляющих.

В условиях экспериментальной ситуации (рис. 2а) слышимость маскированного сигнала можно еще увеличить путем изменения фазы шума в одном ухе на противоположную по отношению к шуму в другом ухе СпШд (рис. 2г) или изменения фазы сигнала в одном ухе на противоположную СдШп (рис. 2д). (Изменения фазы обозначено буквой \*, поскольку стимулы различаются по фазе на 180°).

Изменение фазы на противоположную осуществляется путем изменения положительной или отрицательной полярности в одном из наушников.

Если определить "разность уровня маскировки" как различие (преимущество) в порогах маскировки при дихотическом прослушивании (т.е. при подаче разных сигналов на разные уши) и моноуральном (подаче на одно ухо), или при подаче на оба уха одинаковых сигналов, то величина этой разности количественно определяет уровень бинауральной демаскировки. Уровень бинауральной демаскировки показан на рис.2 (справа в виде численного значения в децибелах) для каждой комбинации сигнала и шума.

Величина разности уровня маскировки в зависимости от изменения параметров сигнала и шума колеблется от 0 до 15 дБ для СдШд, что представлено на рис. 2. Наибольшая разность уровня маскировки обнаружена при противоположных по фазе в обоих ушах сигнале (СпШд) или шуме (СдШп). Если сдвиг по фазе, например, для шума меньше  $\pi$ , то разность уровня маскировки уменьшается до 3...10 дБ (рис. 2е).

Как уже было сказано в первой статье по определению высоты тона (журнал "Звукорежиссер", 6/1999), разряды волокон слухового нерва связаны с фазой колебаний базилярной мембраны.

При этом на низких частотах звука степень привязки по фазе наибольшая, поэтому можно ожидать, что эффекты бинауральной демаскировки зависят от частоты сигнала.

Обобщенные результаты разных исследователей позволили установить, что если подать в оба уха шум одинаковый, а сигнал, по фазе разный (рис. 2д), то величина разности уровня маскировки, наибольшая для низких частот (около 15 дБ при 250 Гц), уменьшится по мере повышения частоты до величины 3 дБ (при 1,5...2 кГц).



Рис.3 Структура модели "управление-сокращение" В соответствии с этой моделью

раздражение от звука, пройдя фильтры критических полос на базилярной мембране в каждом ухе (см. первую часть этой статьи), моноуральным и бинауральным путями поступит в слуховые центры мозга к "различающему устройству", которое определяет, присутствует ли полезный сигнал в данном шумовом окружении.

Различающее устройство переключается между тремя возможными каналами (два моноуральных и один бинауральный) и как основу для ответной реакции использует канал с наиболее подходящим соотношением сигнал/шум. Моноуральные каналы идут непосредственно к различающему устройству, а прохождение раздражения по бинауральному каналу включает две стадии: уравнивание и сокращение.

На первой стадии сигналы из обоих ушей уравниваются по амплитуде (уравнивающая стадия), затем в стадии сокращения эти сигналы вычитаются друг из друга. При одинаковых комбинациях сигналов в обоих ушах  $C+Ш=C+Ш$  входной бинауральный сигнал полностью сокращается, и различающее устройство вынуждено выбирать между моноуральными каналами, поэтому разность уровня маскировки не выявится.

Однако при условии, что шум повернут по фазе, то есть когда  $C+Ш=C+(-Ш)=2C$ , происходит взаимное сокращение шумов и сигнал усиливается до 15 дБ.

Модель работает не безупречно из-за наличия внутриушного шума (поэтому выигрыш только на 15 дБ), точного поворота по фазе не происходит, не полностью уравниваются стимулы и т.д.

Разумеется, это только одна из возможных гипотез, исследования в этом направлении идут очень активно. Однако полученные результаты уже очень интересны, и могут породить новые неожиданные эффекты при многоканальной записи для пространственных систем звуковоспроизведения, построение которых требует учета бинауральных свойств слуха, в том числе и бинауральной демаскировки. Кроме того, использование бинауральной демаскировки может оказаться полезным для построения систем сжатия цифровых сигналов, что является одним из самых динамичных направлений в развитии аудиотехники.