

Лекция 9-10.

План лекции

- 1. Восприятие звуковых сигналов во времени и в пространстве. Бинауральный эффект.**
- 2. Особенности образования и локализации кажущегося источника звука (КИЗ).**
- 3. Коэффициент эквивалентности.**
- 4. Зона стереофонического эффекта.**

1. Известно, что ощущение слуховым аппаратом возникновения звукового сигнала, как и его прекращения, происходит с некоторым запаздыванием. Время, в течение которого ощущение уровня громкости уменьшается на 8...10 фон, называется постоянной времени слуха: зависит от параметров сигнала и составляет в среднем 150...200 мс.

Время адаптации слуха при оценке высоты тона зависит от частоты – на НЧ около 30 мс, а на ВЧ ~ 22 мс.

Если слух возбуждается несколькими короткими звуковыми импульсами длительностью не более 50 мс со скважностью 2, то слух при восприятии будет интегрировать их («Радиовещание и электроакустика» /Под ред. Ковалгина Ю.А., 1998г.). При этом будет проявляться **временная маскировка**, когда последующий импульс будет подавляться предыдущим. Происходит накопление в памяти человека коррелированных по структуре звучаний. Временные сдвиги частотных компонент сложного звукового сигнала приводят к

фазовым искажениям, которые малозаметны при монофоническом звучании. Но при больших сдвигах фазовые искажения уже становятся ощутимыми на слух, т.к. они обусловлены достаточно большим временным запаздыванием частотных компонент. Такие временные сдвиги недопустимы при стереофоническом звучании.

- Восприятие направлений или **локализация источников звука в пространстве** возможно благодаря **бинауральному эффекту**. При этом явление локализации объясняется действием только двух факторов: бинауральной временной разностью $\Delta\tau_6$ и интенсивностной разностью ΔN_6 сигналов, воздействующих на левое и правое ухо. Т.е. каждому угловому положению реального источника звука

- соответствует определенным значениям $\Delta\tau_{\text{б}}$ и $\Delta N_{\text{б}}$.

На НЧ (ниже 500 Гц) направление на источник звука определяется в основном $\Delta\tau_{\text{б}}$. На средних (500 ... 5000 Гц) и ВЧ (выше 5000 ... 6000 Гц) эффект **азимутальной локализации источника звука** определяется двумя факторами - $\Delta\tau_{\text{б}}$ и $\Delta N_{\text{б}}$. При этом точность оценки азимута источника звука в горизонтальной плоскости 3 ... 4 градуса, а в вертикально слабее (не выше 10 ... 15 градусов).

Глубинная локализация (здесь ее отличие от азимутальной) возможна и при моноуральном слушании, но бинауральное восприятие существенно повышает точность и облегчает слуховую оценку расстояния. В количественном выражении это происходит так: орган слуха с помощью двух разнесенных своих приемников звука на уровне подсознания вычисляет значения

- $\Delta\tau_{\text{б}}$ и $I_{\text{зв.ср}}/\Delta I_{\text{зв}}$ и затем определяет расстояние до звучащего объекта

$$r = 2c_{\text{зв}}\Delta\tau_{\text{б}}I_{\text{зв.ср}}/\Delta I_{\text{зв}} \quad (1)$$

где $I_{\text{зв.ср}}$ - среднее значение интенсивности сигналов, воздействующих на левое и правое ухо;
 $\Delta I_{\text{зв}}$ - бинауральная разность интенсивностей; $c_{\text{зв}}$ - скорость звука.

Анализ (1): при $r > 10$ м разрешение временных интервалов и приращений интенсивностей превышает возможности человека. Однако при r около единиц метров необходимая разрешающая способность доступна человеческому уху.

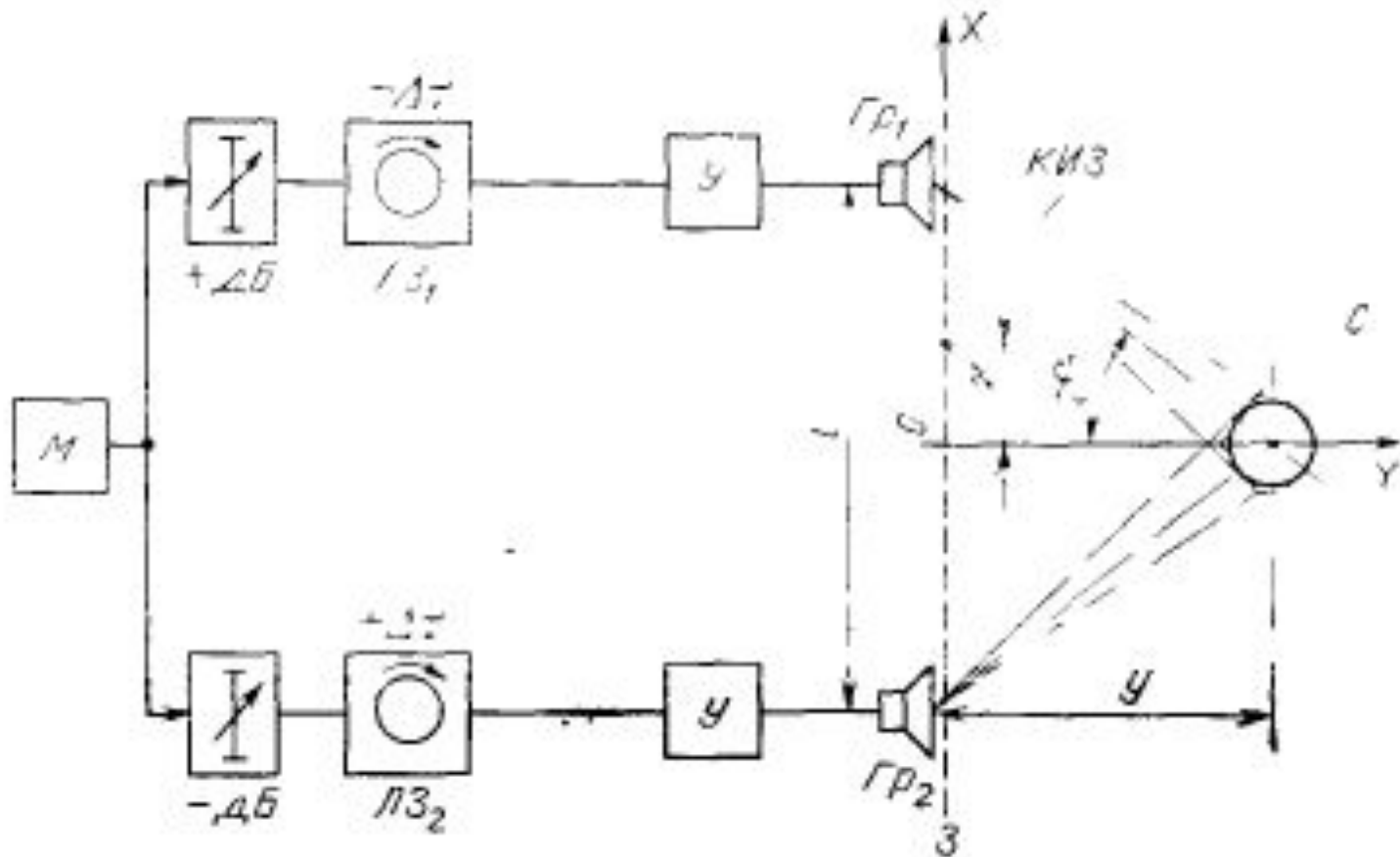
В закрытых помещениях на глубинную локализацию оказывает наличие и отраженных звуков от поверхностей помещений.



2. Особенности образования и локализации источников звука (КИЗ - субъективный звуковой образ источника звука, располагаемый определенным образом в пространстве) при стереофоническом воспроизведении.

Пусть слушатель находится на оси симметрии U системы воспроизведения $Gr1$ и $Gr2$, а излучаемые громкоговорителями сигналы L и P не имеют различия по времени ($\Delta\tau = 0$) и по уровню ($\Delta N = 0$) и получены от одного и того же источника звука M (смотри рисунок на следующем слайде).

Установка для изучения особенностей локализации КИЗ



Звучания обоих Гр сливаются в единый звуковой образ, который кажется расположенным посередине линии базы Гр в точке О. Этот звуковой образ кажущийся, т.к. его появление возможно, если сигналы, излучаемые Гр, статистически связаны (коррелированы). Если корреляция между каналами снижается, то КИЗ локализуется все менее четко, его протяженность увеличивается, а при уменьшении корреляции до 0,05...0,15 наступает разрыв КИЗ на два действительных источника звука, которые воспринимаются отдельно и локализуются на позициях Гр1 и Гр2.

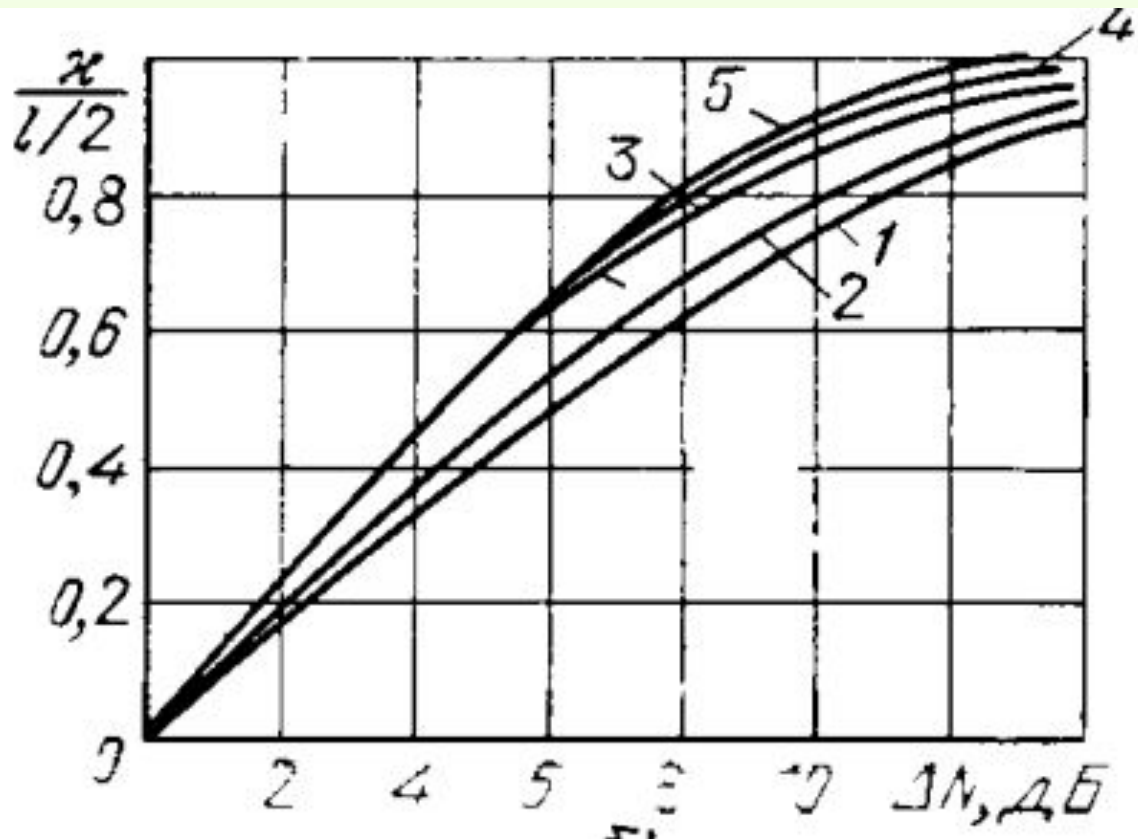
- Положение КИЗ на линии базы зависит только от временных и интенсивностных различиях между сигналами, достигающими ушей слушателя. Эти различия обусловлены либо свойствами левого и правого сигналов стереопары, либо местом слушателя относительно Гр (ΔN_{xy} и $\Delta \tau_{xy}$, где x и y – координаты слушателя). Именно это различие приводит к сильной зависимости воспроизводимого стереоэффекта от места слушателя относительно Гр1 и Гр2.

• Величина x – смещение КИЗ от центра базы.

Рассмотрим симметричное положение слушателя относительно Γ_r ($\Delta N_{xy} = 0, \Delta \tau_{xy} = 0$).

Исследуются зависимости смещения x КИЗ от центра базы по отношению к половине базы $l/2$ от значения ΔN .

Если ввести $\Delta N \neq 0$, то КИЗ перемещается в сторону Γ_r , излучающего сигнал с большим уровнем, но при $\Delta N = 12...16$ дБ КИЗ локализуется практически в позиции Γ_r и дальше не перемещается (с увеличением ΔN):

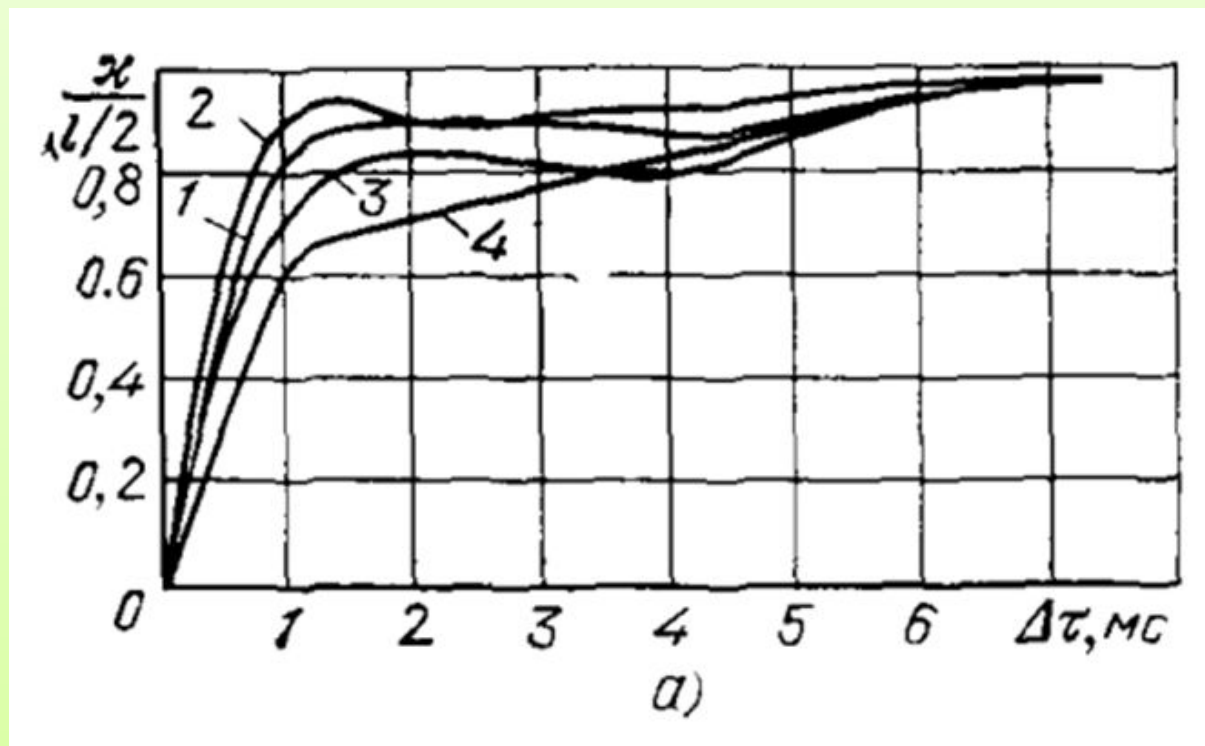


Перемещение КИЗ не зависит от u – расст-е между слушателем и системой воспроизведения для малых баз ($l = 0,8 \dots 1,8 \text{ м}$). Для больших баз ($l > 2,8 \text{ м}$) это

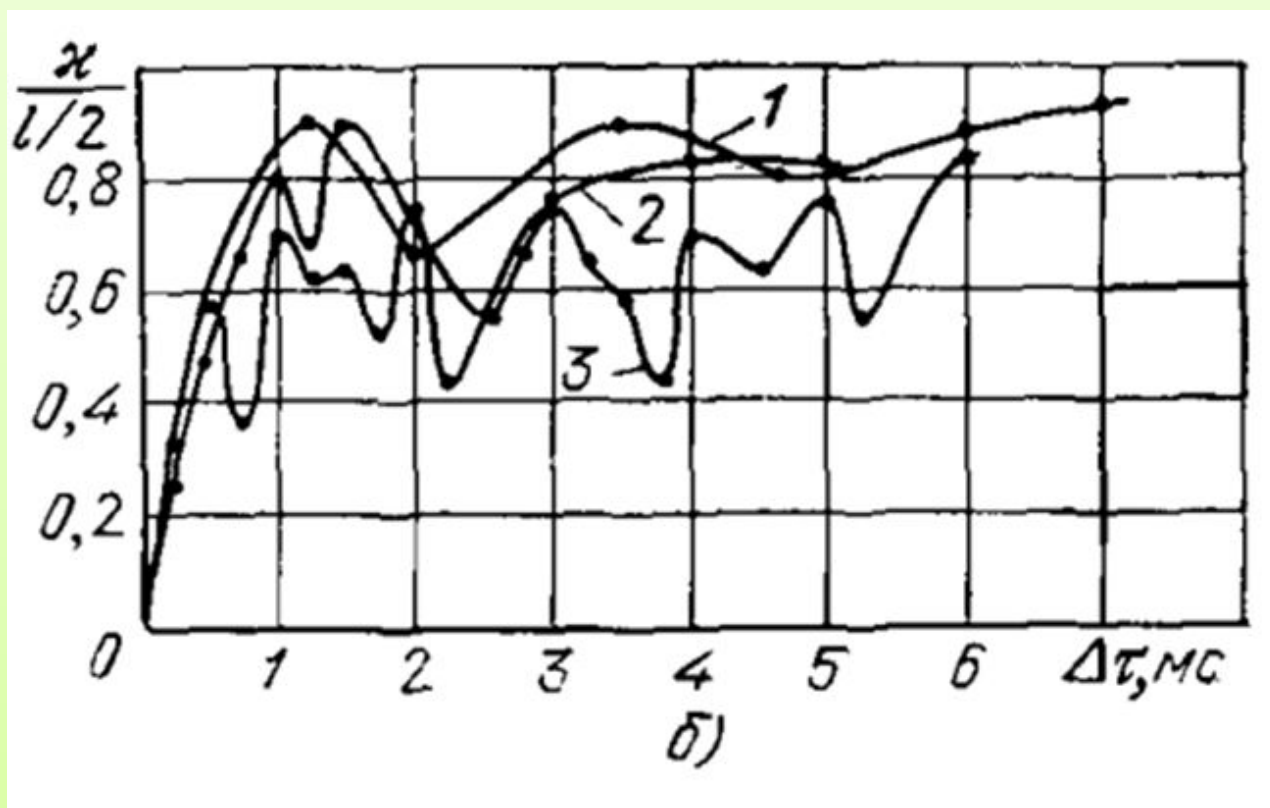
утверждение справедливо только при y не менее 1 м. Тогда при приближении слушателя к системе воспроизведения на расст-е $y < l$ (при $\Delta N = const$) КИЗ смещается тем меньше, чем ближе расположен слушатель к базе Гр.

Если ввести временной сдвиг ($\Delta\tau$) КИЗ смещается в сторону Гр, излучающего опережающий сигнал и характер такого смещения зависит от распределения энергии испытательного сигнала по частоте.

Если сигналы имеют спектры мощности без ярко выраженных неоднородностей распределения энергии по частоте, то перемещение КИЗ имеет монотонный характер:

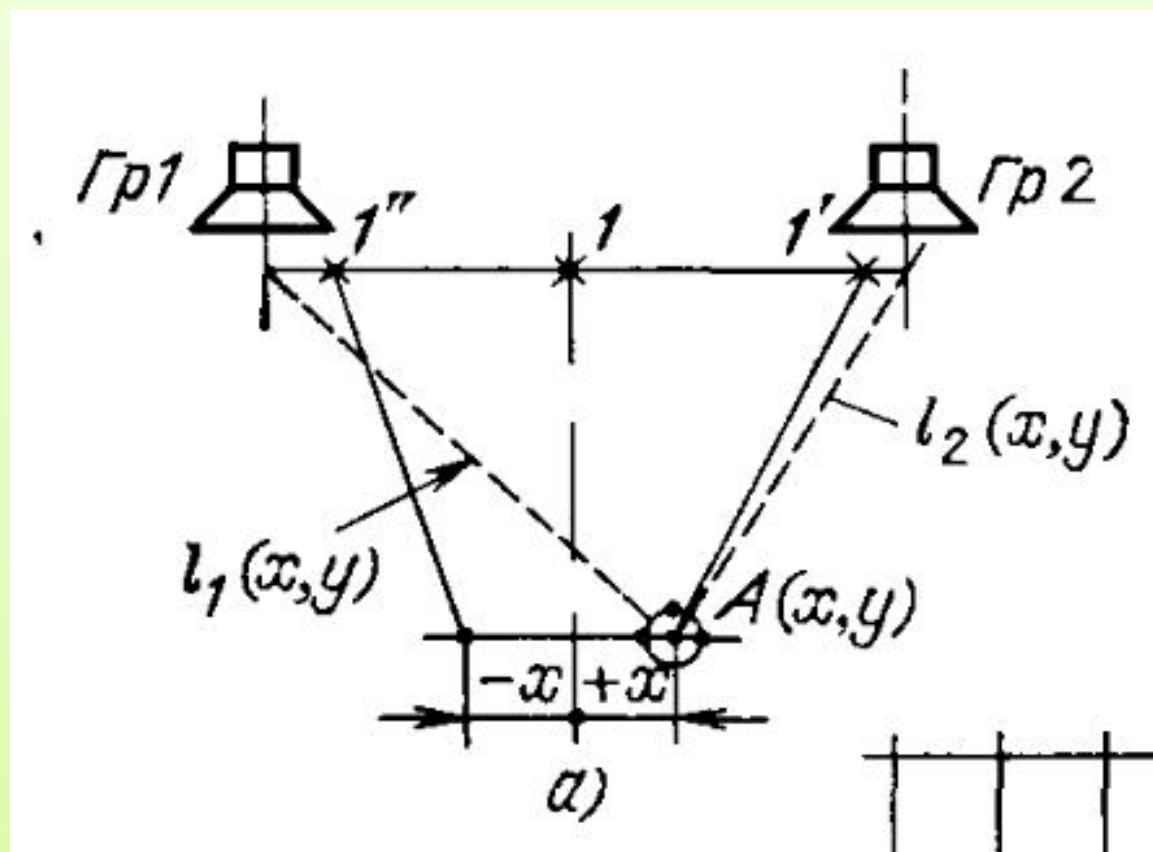


Для спектров мощностей сигналов с энергетическими пиками монотонное смещение КИЗ есть только на начальном участке, где $\Delta\tau < 0,5 \dots 1,0$ мс):



Для интервала от 1,0 мс до 7 мс эти зависимости имеют ярко выраженный характер, при этом наблюдается неоднократное возвращение КИЗ к центру базы, но размах этих колебаний уменьшается и при $\Delta\tau > 7$ мс. Скоррелированность между Л и П сигналами уменьшается, четкость локализации ухудшается, протяженность КИЗ растет, в сигнале появляется гулкость и при некотором пороговом значении $\Delta\tau$ наступает разрыв КИЗ (как компенсировать временную разность?).

- Асимметричное положение слушателя относительно Γ_r ($\Delta N_{xy} \neq 0, \Delta \tau_{xy} \neq 0$):

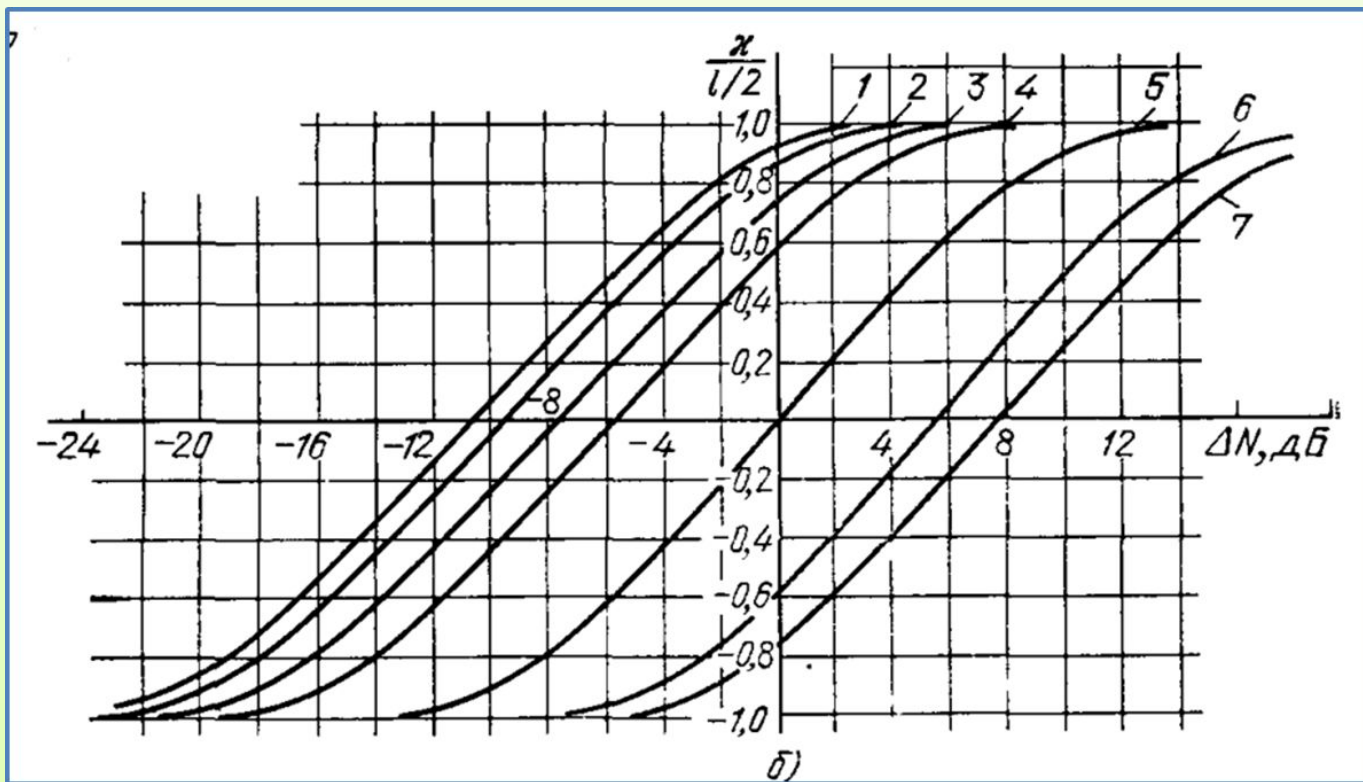


• При боковом смещении слушателя расстояния l_1 и l_2 неодинаковые. Появляются дополнительные интенсивностные (ΔN_{xy}) и временные ($\Delta \tau_{xy}$) различия исходных сигналов от Гр1 и Гр2 в точку прослушивания $A(x,y)$.

Появление ΔN_{xy} и $\Delta \tau_{xy}$ приводит к смещению КИЗ (при $\Delta N = 0, \Delta \tau = 0$) в сторону ближайшего к слушателю Гр. При $\Delta N=0$ КИЗ локализуется в области ближайшего Гр – при $|\mathbf{n}| = (0,7...1,0)l/2$.

• Перемещение КИЗ ощущается только при определенном ΔN , которое будет компенсировать действие на слух различий ΔN_{xy} и $\Delta \tau_{xy}$ (в зависимости от величин x и y). Например, при большом x и малом y ΔN_{xy} и $\Delta \tau_{xy}$ велики и для их нейтрализации необходимо ввести $\Delta N \geq 10$ дБ, а для больших y и малых x нейтрализующая интенсивностная разность составляет всего лишь 2...3 дБ.

На рисунке приведены зависимости при разных x :



Неизменность кривых говорит о независимости действия на орган слуха временных и интенсивностных различий.

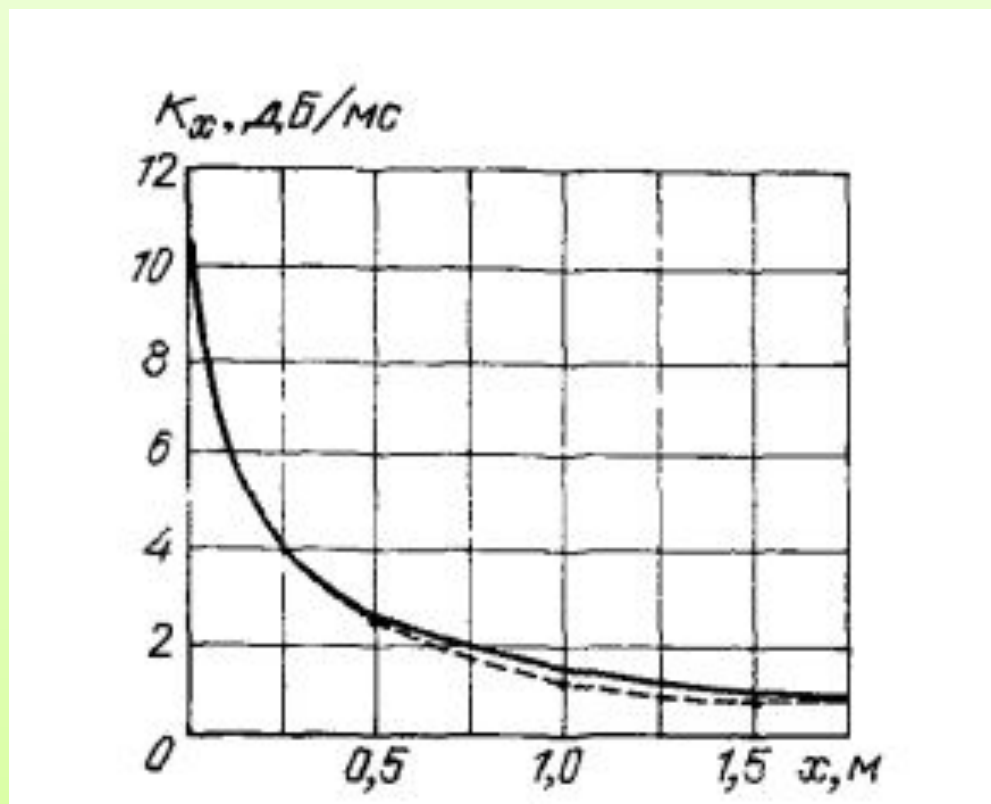
- **3. Коэффициент эквивалентности.**

Если $\Delta N \neq 0, \Delta \tau \neq 0, \Delta N_{xy} \neq 0, \Delta \tau_{xy} \neq 0$, то общий способ определения местоположения КИЗ основан на понятии коэффициента эквивалентности

$$K_x = \Delta N(x, y) / \Delta \tau(x, y), \quad (2)$$

где в числителе и знаменателе соответственно интенсивностные и временные различия сигналов Гр1 и Гр2, необходимые для возвращения КИЗ в центр базы при расположении слушателя в точке (x, y) . Значение K_x

не зависит от размеров базы l , расстояния до нее, если $y \geq 1$ м, и составляет около 10 дБ/мс при $x=0$ и резко уменьшается с увеличением бокового смещения: при $x=1,0$ м около 1,5 дБ/мс.



Штриховой линией показана аппроксимация Kx выражением

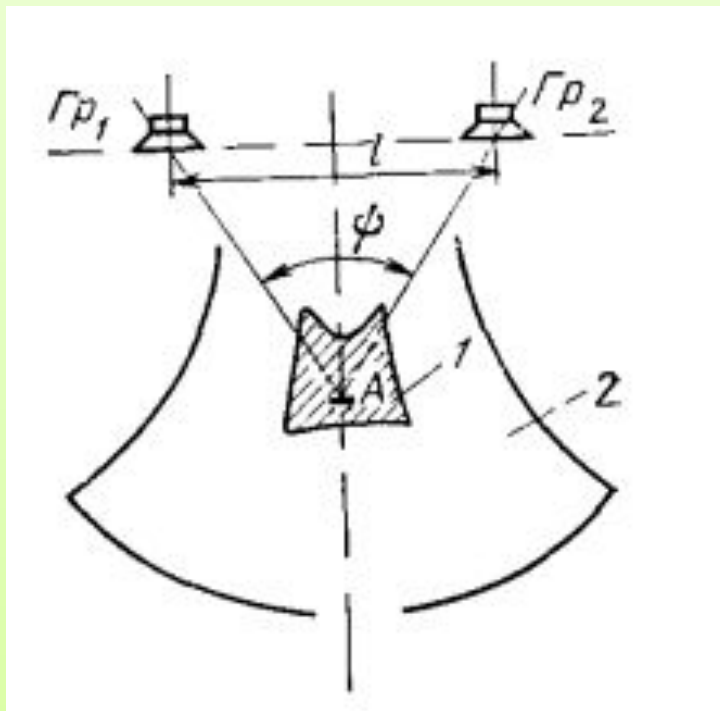
$$K_x = 5,5(|x| + 1) \exp(-9,3|x|) + 4,8 \exp(-1,3|x|) \quad (3)$$

Зная Kx , можно рассчитать эквивалентную интенсивностную разность, которая вызывает такое же смещение КИЗ, что и одновременно действующие $\Delta N \neq 0, \Delta \tau \neq 0, \Delta N_{xy} \neq 0, \Delta \tau_{xy} \neq 0$

$$\Delta N_{\text{э}} = (\Delta N + \Delta N_{x,y}) + K_x (\Delta \tau + \Delta \tau_{x,y}) \quad (4)$$

Затем, при помощи графической зависимости $x/(l/2) = f(\Delta N)$ при условии, что $\Delta \tau = 0$ и $x = 0$, находим относительное смещение $x/(l/2)$.

4. Предпочтительность стереофонического звучания перед монофоническим существенно зависит от местоположения слушателя относительно Γp_1 и Γp_2 системы воспроизведения. В очень малой области 1 стереоэффект составляет более 85 %.



Эта область называется зоной полного стереоэффекта. Здесь сохраняется качественно правильная локализация КИЗ, пространственные искажения стереопанорамы малы, т.е. смещения КИЗ от своего истинного положения не превышают 10% от размера базы l Гр (громкоговорителей). По мере смещения от оси симметрии Гр предпочтительность стереовоспроизведения падает.

Площадь пола помещения прослушивания, где предпочтительность стереовоспроизведения (перед монофон.) составляет 60...85%, называется зоной частичного стереоэффекта 2.