

# АРХИТЕКТУРНАЯ АКУСТИКА

**Основные положения акустики**

---

# АРХИТЕКТУРНАЯ АКУСТИКА

Область среды, в которую распространяются звуковые волны, называют звуковым полем.

## Основные положения акустики

**Звук** – это колебательное движение в любой материальной среде, вызванное каким-либо источником.

**Скорость звука:** если частота колебания  $f$ , то за одну секунду звуковая волна распространится на расстояние, численно равное скорости звука [  $c = \lambda f$  ]  
За единицу частоты принят герц [Гц], равный одному колебанию в секунду.

**Звуковое давление** – это разность между атмосферным давлением и давлением в точке звукового поля.

**Уровень звукового давления** – десятикратный десятичный логарифм отношения квадрата звукового давления к квадрату порогового звукового давления в дБ.

**Октавный уровень звукового давления** – уровень звукового давления в октавной полосе частот в дБ.

# АРХИТЕКТУРНАЯ АКУСТИКА

Процесс распространения колебательного движения(звука) в среде называется *звуковой волной*

## Звуковые волны

### Продольные

звуковые волны возникающие при распространении колебаний в воздухе и в жидкостях. При продольных волнах частицы среды смещаются в направлении распространения волны

### Поперечные

звуковые волны возникающие при распространении колебаний в твердых телах. При поперечных волнах частицы среды смещаются перпендикулярно направлению распространения звуковой волны

# АРХИТЕКТУРНАЯ

## АКУСТИКА

### Виды шума

**Проникающий** – шум, возникающий вне данного помещения и проникающий в него через ОК, системы вентиляции, водоснабжения и отопления.

**Постоянный** – шум, уровень звука которого изменяется во времени не более чем на 5 дБ.

**Тональный** – шум, в спектре которого имеются слышимые дискретные тона.

**Непостоянный** – шум, уровень звука которого изменяется во времени более чем на 5 дБ.

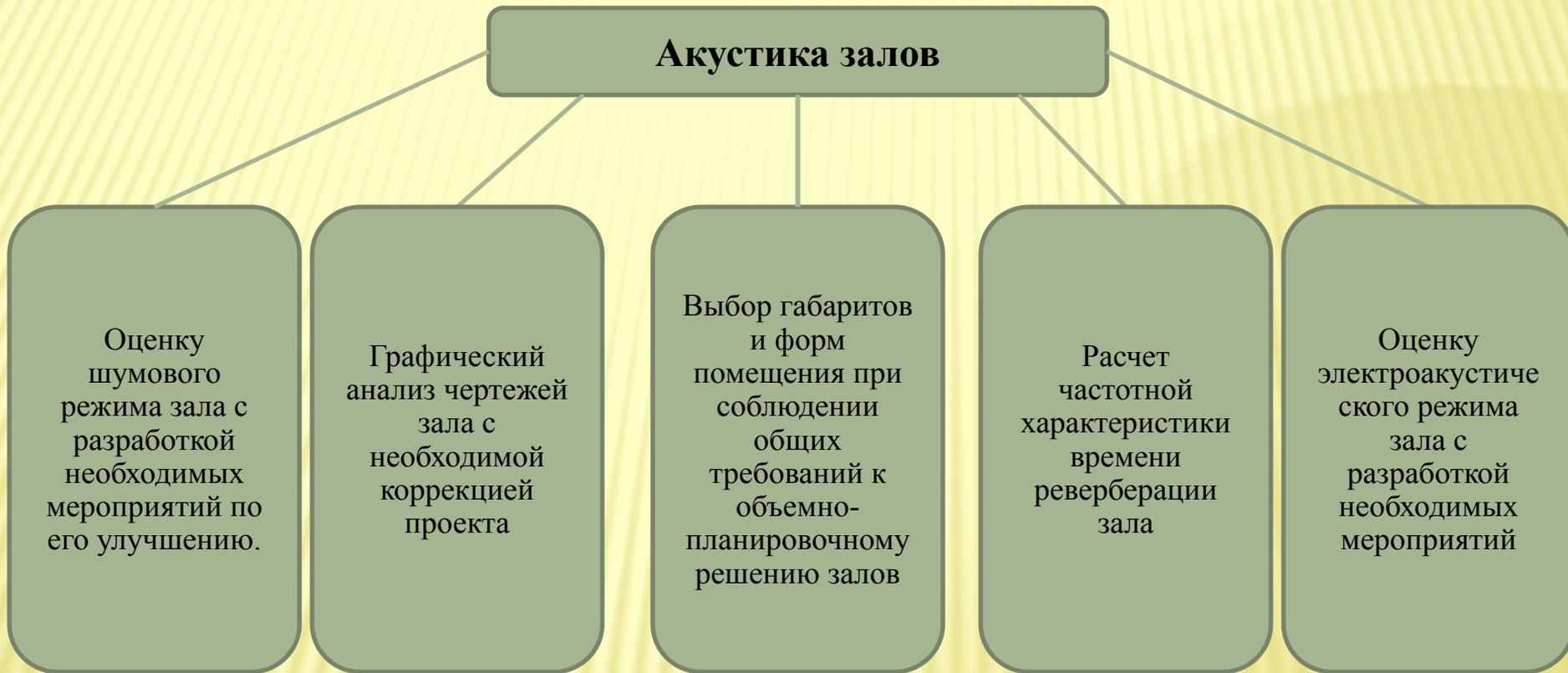
**Импульсный** – непостоянный шум, состоящий из одного ряда звуковых сигналов (импульсов).

Оценка шумового режима зала с разработкой необходимых мероприятий по его улучшению

Для обеспечения нормативного шумового режима в зрительных залах следует:

- При архитектурно-планировочном решении здания не располагать смежно с залом помещения с источниками интенсивного шума (вентиляционные камеры, насосные и т.д.)
- Применять ОК зала с требуемой звукоизоляцией, обращая особое внимание на элементы с относительно небольшой звукоизоляцией (окна, двери).
- Применять меры по снижению шума систем вентиляции и кондиционировании воздуха до допустимых (глушители и т.д.).

# АРХИТЕКТУРНАЯ АКУСТИКА



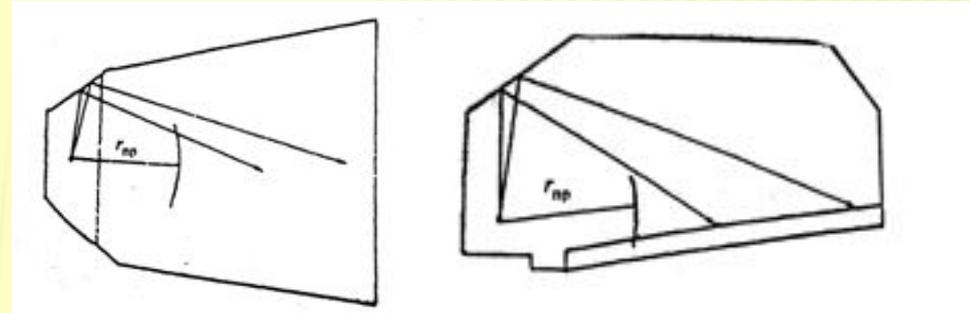
В каждом зале должны быть выдержаны основные требования к объемно-планировочному решению, дифференцированные в зависимости от конкретного назначения зала

# АРХИТЕКТУРНАЯ

## Выбор габаритов и форм помещения

**Удельный воздушный объём на одно зрительское место должен составлять, м<sup>3</sup>:**

В залах драматических театров, аудиториях и конференц-залах.....	4 – 5;
В залах музыкального - драматических театров (оперетта).....	5 – 7;
В залах театров оперы и балета.....	6 – 8;
В концертных залах симфонической музыки .....	8 – 10;
В залах для хоровых и органнх концертов.....	10 – 12;
В многоцелевых залах.....	4 – 6;
В концертных залах современной эстрадной музыки (киноконцертных залах).....	4 – 6;
<b>Максимальная длина залов <math>L_{доп}</math> должна составлять м:</b>	
В залах драматических театров, аудиториях и конференц-залах.....	24-25;
В театрах оперетты.....	28 – 29;
В залах театров оперы и балета.....	30 – 32;
В концертных залах камерной музыки.....	20 – 22;
В залах для хоровых и органнх концертов.....	42 – 46;
В многоцелевых залах вместимостью более 1000 мест.....	30 – 34;
В концертных залах современной эстрадной музыки (киноконцертных залах).....	48 – 50;



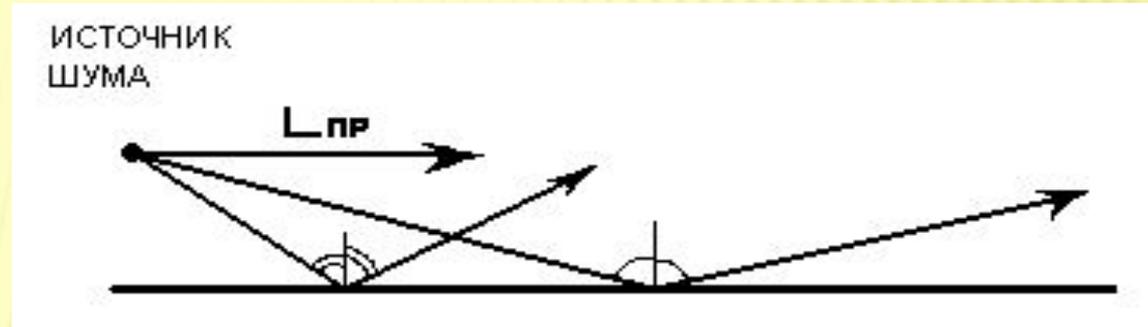
Прямоугольная форма в плане с плоским горизонтальным потолком допустима только для небольших лекционных залов вместимостью до 200 человек. Во всех других случаях зрительных залов оптимальной формой плана является трапециевидная с углом раскрытия 10-12°

# АРХИТЕКТУРНАЯ

## Отражение и поглощение звука

В помещениях различают прямой звук, идущий непосредственно от источника, и отраженный от поверхностей.

Вследствие многократных отражений звуковых волн и суммирования энергии прямых и отраженных волн в помещении устанавливается звуковое поле с определенными уровнями звукового давления.



Для получения достаточной диффузности звукового поля следует правильно выбрать форму и пропорцию зала. Основные размеры и пропорции зала должны выбираться из следующих условий:

$$\bullet L \leq L_{\text{доп}} \quad \bullet V = S_{\text{п}} / L \quad \bullet H = V / S_{\text{п}} \quad \bullet 1 < L/B < 2 \quad \bullet 1 < B/H < 2$$

$L$  - длина зала по его центральной линии,  
 $L_{\text{доп}}$  - предельно допустимая длина зала,  
 $B$  и  $H$  - соответственно ширина и высота зала,  
 $V$  - общий воздушный объем зала,  
 $S_{\text{п}}$  - площадь пола зала.

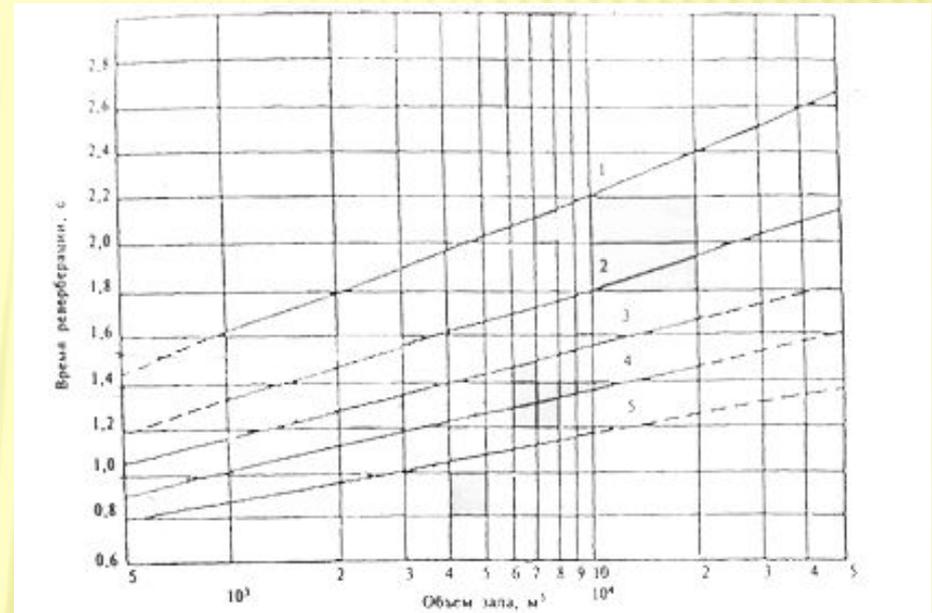
# АРХИТЕКТУРНАЯ

## Расчет частотной характеристики времени реверберации зала.

**Время реверберации** – время, за которое уровень звукового давления после выключения источника звука падает на 60 дБ.

**Реверберация** – это явление постепенного спада звуковой энергии в помещении после прекращения работы источника звука.

**Коэффициент звукопоглощения  $\alpha$**  - отношение величины не отраженной от поверхности звуковой энергии к величине падающей энергии.



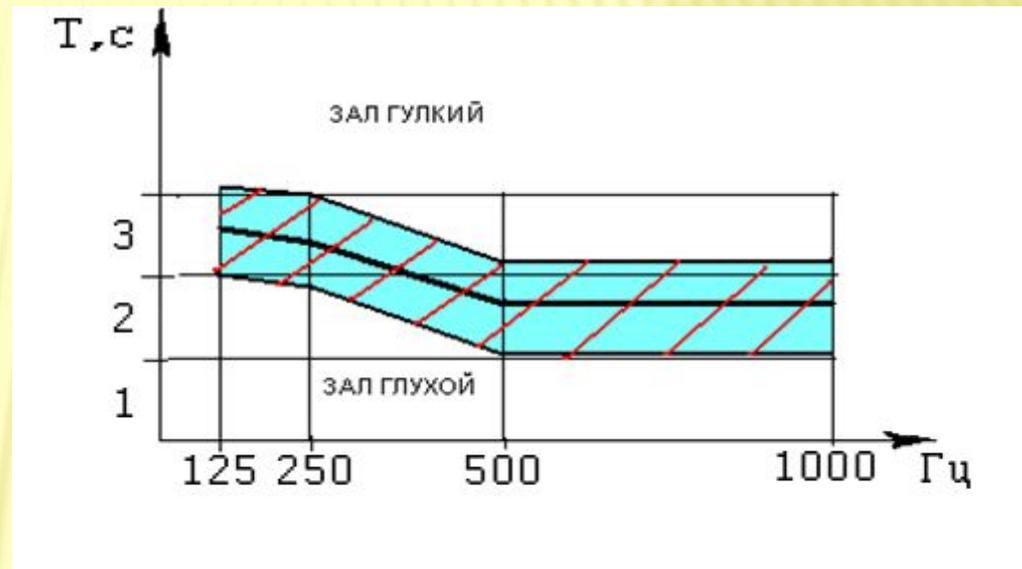
1 - залы для ораторий и органной музыки, 2 - залы для симфонической музыки, 3 - залы для камерной музыки, залы оперных театров, 4 - залы многоцелевого назначения, залы музыкально драматических театров, спортивные залы, 5 - лекционные залы, залы заседаний, залы драматических театров, кинозалы, пассажирские залы.

По графику определяем рекомендованное время реверберации на средних частотах (500-1000 Гц) для залов различного назначения в зависимости от объема. Допустимое отклонение от приведенных величин  $\pm 10\%$ .

# АРХИТЕКТУРНАЯ АКУСТИКА

## Расчет частотной характеристики времени реверберации зала.

По получившимся значениям  $T$  строим график. Наш график должен находиться в заштрихованной области, если он находится выше, то зал гулкий, ниже – глухой. Чтобы исправить время реверберации следует внести некоторые изменения в конструктивные решения зала.



**Зал гулкий** – если время реверберации больше нормативного.

**Зал глухой** – если время реверберации меньше нормативного.

# АРХИТЕКТУРНАЯ АКУСТИКА

## **Расчет частотной характеристики времени реверберации зала.**

Посчитаем коэффициент звукопоглощения  $\alpha_{\text{ср}} = A_{\text{общ}}/S_{\text{общ}}$ , где  $A_{\text{общ}} = \sum \alpha_{\text{ср}} * S + \alpha_{\text{доб}} * S_{\text{общ}} + \sum \alpha_{\text{ср}} * n$ , считаем для каждой октавной полосы (125, 250, 500, 1000 и т.д. Гц).

Если  $\alpha_{\text{ср}} \leq 0,2$ ; то время реверберации определяется по формуле  $T = 0,163 * V / A_{\text{общ}}$

Если  $\alpha_{\text{ср}} > 0,2$ ; то время реверберации вычисляется по формуле  $T = 0,163 * V / [-S_{\text{общ}} * \ln(1 - \alpha_{\text{ср}})]$

## **Графический анализ чертежей зала с необходимой коррекцией проекта**

Целью графического анализа чертежей зала является проверка равномерности поступления в зоны слушательских мест первых отражений от стен и потолка с допустимыми запаздываниями  $\Delta t$  20 – 25 мс для речи, 30 – 35 мс – для музыки.

**Запаздывание определяют по формуле:**  $\Delta t = (L_{\text{отр}} - L_{\text{пр}}) * 1000 / c$ ,

где  $L_{\text{отр}} = L_1 + L_2$ ,  $L_1$  - длина пути до столкновения с препятствием,  $L_2$  – длина пути после отражения,  $c$  – скорость звука ( $c=340$  м/с)

## **Расчеты локальных акустических критериев**

После завершения акустического проектирования формы и конструкций интерьера зала следует провести контрольные расчеты локальных акустических критериев для речи, музыки, которые могут быть расчленены только путем компьютерного моделирования импульсных характеристик помещения. Моделирование производится известными методами прослеживания лучей или мнимых источников по одной из современных компьютерных программ. Если показания хотя бы одного из критериев будут отличаться, то следует провести дополнительную коррекцию проекта зала.

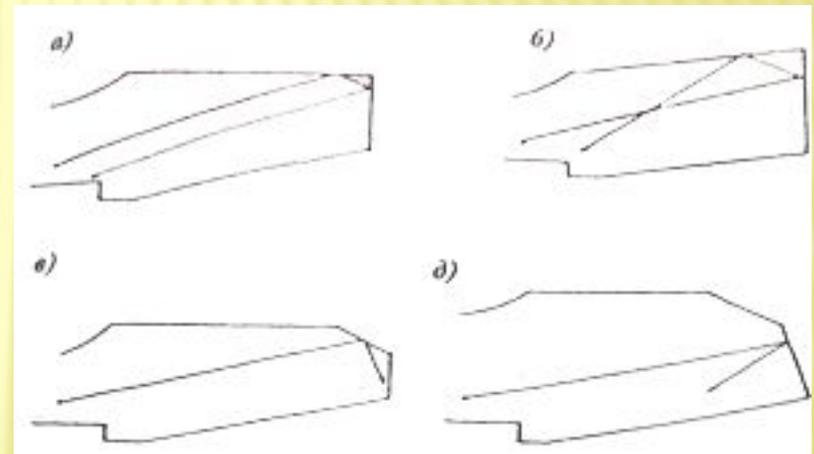
# АРХИТЕКТУРНАЯ АКУСТИКА

Разработка электроакустической части проекта зала проводится по специальной программе и базируется на параметрах, полученных ранее при расчете естественной акустики зала.

## Оценка электроакустического режима зала

При примыкании задней стены зала к потолку под углом  $90^\circ$  или меньше может возникнуть так называемое театральное эхо – отражение звука от потолка и стены в направлении к источнику звука, приходящее с большим запаздыванием.

Для устранения такого эха следует выполнить наклонной часть потолка у задней стены или наклонной заднюю стенку зала



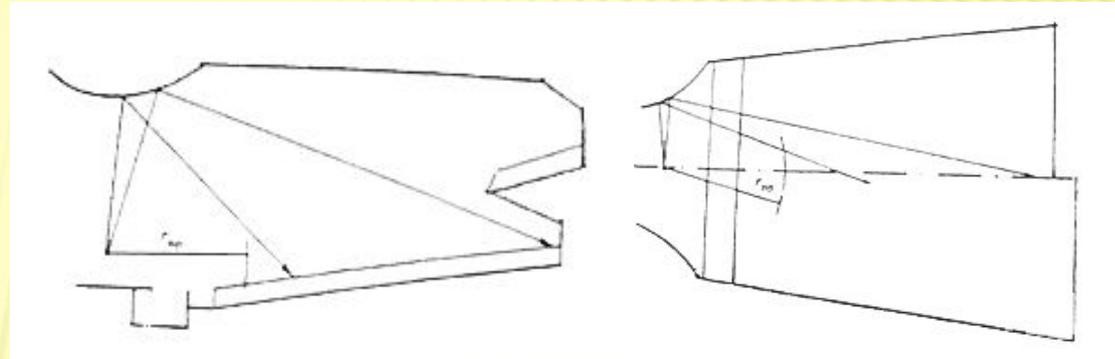
а и б – «театральное эхо»

в и д – «театральное эхо» отсутствует

# АРХИТЕКТУРНАЯ

## Разработка мероприятий по улучшению диффузности в зале

После завершения графического анализа чертежей и создания в зале оптимальной структуры ранних отражений не занятые для этой цели поверхности должны быть использованы для оформления диффузного звукового поля путем их эффективного расчленения различной формы звукорассеивающими элементами для создания рассеянного, ненаправленного отражения звука. Это достигается расчленением поверхностей балконами, пилястрами, нишами и тому подобными неровностями.



Гладкие большие поверхности не способствуют достижению хорошей диффузности звукового поля. Особенно не желательны гладкие, параллельные друг другу плоскости, вызывающие эффект «порхающего эха», получившийся в результате многократного отражения звука между ними. Расчленение таких стен ослабляет этот эффект и увеличивает диффузность.