

# Архитектурная акустика

Лекция №2

---

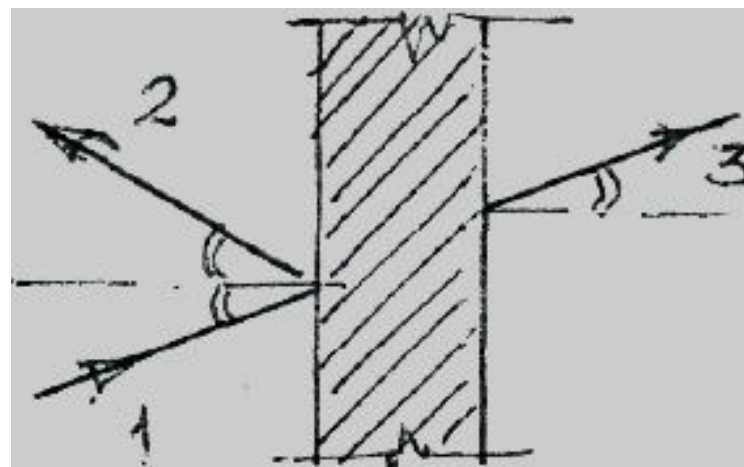
# Звуковые процессы в помещениях

---

Отражение и поглощение звука в  
помещениях

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. Энергия проходит также через преграду.



# Законы отражения и преломления звука аналогичны законам геометрической оптики.

- Количественно, поглощенная, отраженная и прошедшая через преграду, части звуковой энергии определяются коэффициентами  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\tau$ .
- Коэффициентом звукопоглощения называется отношение поглощенной звуковой энергии к падающей  
$$\alpha = (E_{пад} - E_{отр})/E_{пад}$$
- Коэффициентом отражения называется отношение энергии отраженного звука к энергии падающего  $\beta = E_{отр}/E_{пад}$
- Коэффициентом звукопередачи ( звукопроницаемости ) называется отношение энергии прошедшего через преграду звука к падающей  
$$\tau = E_{пр}/E_{пад}$$

**Следовательно  $\alpha + \beta = 1$  и  $\alpha = 1 - \beta$ ,  
т.е., если  $\alpha = 1$ , то  $\beta = 0$  и наоборот.**

# Коэффициент звукопоглощения

## ЗАВИСИТ ОТ:

- материала конструкции,
- частоты звуковых волн,
- от угла их падения на поверхность.

Все строительные материалы и конструкции в той или иной степени поглощают звук.

Строительные материалы и конструкции	Коэффициент звукопоглощения $\alpha$ на частоте 500 Гц
Бетон	0,01
Штукатурка	0,02
Линолеума	0,03
Паркет	0,07

# Суммарное звукопоглощение (ЗП)

помещения -

– сумма произведений коэффициентов ЗП отдельных поверхностей на их площади. Кроме того, учитывается ЗП отдельными объектами.

$$A_{\text{общ}(125,500,2000)} = \sum \alpha_i S_i + \sum A_{\text{крес.слуш.}} + \alpha_{\text{доб}} S_{\text{общ}}$$

где:  $A = \alpha S$

Величина  $A$  называется **эквивалентной площадью звукопоглощения данной поверхности** (ЭПЗ).

# Коэффициент добавочного звукопоглощения $\alpha_{доб}$ залов

в среднем может быть принят равным:

0,09 на частоте 125 Гц  
и 0,05 на частотах 500— 2000 Гц.

Для залов, в которых сильно выражены условия, вызывающие добавочное звукопоглощение (например, многочисленные щели и отверстия на внутренних поверхностях зала, многочисленные гибкие элементы — гибкие абажуры и панели светильников и т.п.), следует эти значения увеличить примерно на 30%, а в залах, где эти условия выражены слабо, примерно на 30% уменьшить.

Под диффузным подразумевается такое поле, в котором выполняются два условия:

- 1) усредненная во времени плотность звуковой энергии во всех точках поля одинакова;
- 2) все направления прихода потоков звуковой энергии в какую-либо точку равновероятны и по любому направлению, усредненный во времени, поток звуковой энергии одинаков.
- Для учета ЗП принимается величина среднего КЗП

$$\bar{\alpha} = \sum \alpha_i S_i / S_{\text{общ}} = A_{\text{общ}} / S_{\text{общ}}$$



# Время затухания называется временем реверберации (T)

В качестве эталона принято время затухания плотности звуковой энергии в  $10^6$  раз.

В результате экспериментальных исследований для расчета времени реверберации выведена формула Эйринга:

$$T = \frac{0,163V}{\overline{\varphi(\alpha)}S_{общ} + nV}$$

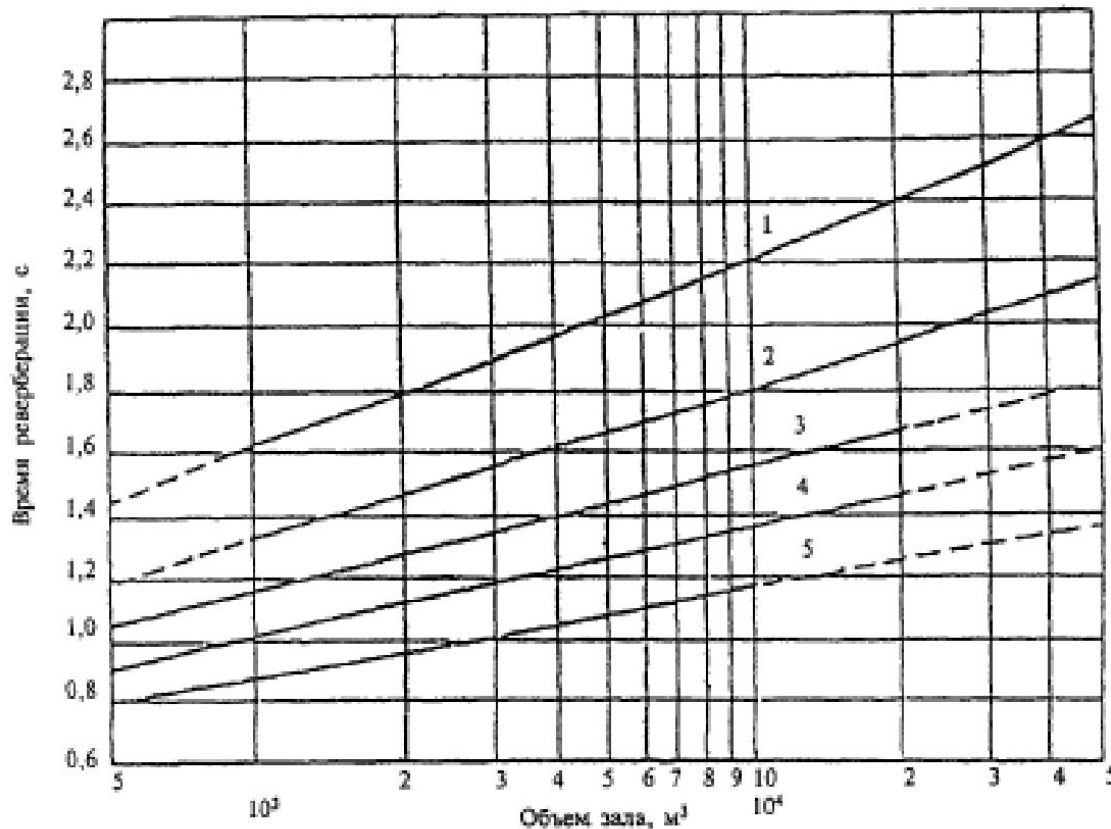
- где  $V$  – объем зала, м<sup>3</sup>,
- $S_{общ}$  – суммарная площадь всех ограждающих поверхностей зала, м<sup>2</sup>,
- $\overline{\alpha}$  – средний коэффициент звукопоглощения в зале,
- $\overline{\varphi(\alpha)} = \frac{1}{\ln(1-\overline{\alpha})}$  – функция среднего коэффициента звукопоглощения, значения которой приведены в таблице 2.
- $n$  – коэффициент, учитывающий затухание звука в воздухе.  
В октавных полосах 125-1000 Гц  $n = 0$ , в октаве 2000 Гц  $n = 0,009$

Значения функции  $\varphi(\bar{\alpha}) = -\ln(1-\alpha)$  в зависимости от величины среднего коэффициента звукопоглощения в зале принимаются по таблице

$\bar{\alpha}$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,1	0,1	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19	0,2	0,21
0,2	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,29	0,3	0,32	0,33	0,34
0,3	0,36	0,37	0,39	0,4	0,42	0,43	0,45	0,46	0,48	0,49
0,4	0,51	0,53	0,54	0,56	0,58	0,6	0,62	0,64	0,65	0,67
0,5	0,69	0,71	0,73	0,76	0,78	0,8	0,82	0,84	0,87	0,89
0,6	0,92	0,94	0,97	0,99	1,02	1,05	1,08	1,11	1,14	1,17

# Определение рекомендуемого времени реверберации ( $T_r$ )

- Оптимальные величины времени реверберации в диапазоне 500-1000 Гц для залов различного назначения в зависимости от объема зала приведены на графике:



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

Допускается отклонение от оптимальной величины:

- на средних частотах (500-2000 Гц) не более, чем на 10%;
- на низких частотах (125 Гц) допускается увеличение времени реверберации на 20%.

---

После того, как определено время реверберации на средних частотах (500-1000 Гц) по рис. 3, необходимо его скорректировать по частотному спектру воспроизводимых в зале сигналов. Здесь могут быть предложены следующие рекомендации:

- а) для лекционных аудиторий, конференцзалов рекомендуется не изменять время реверберации на всех частотах, кроме частоты 125 Гц (уменьшить на 15%);
  - б) залы, в которых исполняемые музыкальные произведения время реверберации по частотам не изменяется, но его рекомендуется уменьшить на 10-20%;
  - в) залы, которые используются, как для музыкальных постановок, так и для проведения собраний, спектаклей (многоцелевые залы), должно иметь разное время реверберации на разных частотах:
    - для частоты 2000 Гц берется такое же  $T$  как и на частоте 500 Гц,
    - на частоте 125 Гц допускается увеличение на 20%, (процентный состав зависит от годового вклада представлений и концертов с музыкальным исполнением: чем их больше, тем больший процент следует брать).
-

## Виды залов по назначению, их максимальная вместимость

Вид зала	Максимальная вместимость, человек	V удельный, м <sup>3</sup> /чел.	Максимальная длина (до авансены) м
Лекционные и конференц-залы,	400	4-5	20-22 (18)
Драматические театры	1000	4-5	24-25 (20)
Музыкально- драматических театров (оперетта)	1200	5-7	26-28 (25)
Театры оперы и балета	1500	6-8	30-32 (30)
Концертные: камерные	400	6-8	20-22
симфонические	2000	8-10	42-46
Залы для хорового пения и органной музыки	2000	10-12	42-46
Многоцелевого назначения	500-1000	4-6	30-34 (32)
Залы современной эстрадной музыки	2500	4-6	48-50

**Время реверберации** является первой и одной из основных характеристик помещений, зависящая от объема помещения и общего звукопоглощения.

Объем зала определяется пропорциями зала:

- Отношение длины зала  $l$  к средней ширине  $v$  оптимально:

$$1,3 \leq \frac{l}{v} \leq 1,6$$

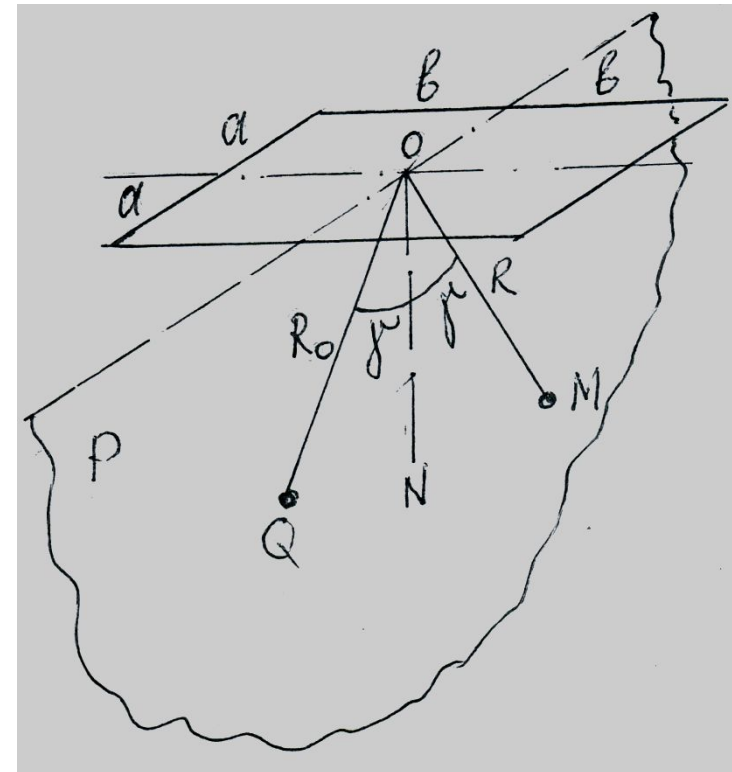
- В таких пределах и отношение ширины зала  $v$  к средней высоте  $h$ :

$$1,3 \leq \frac{v}{h} \leq 1,6$$

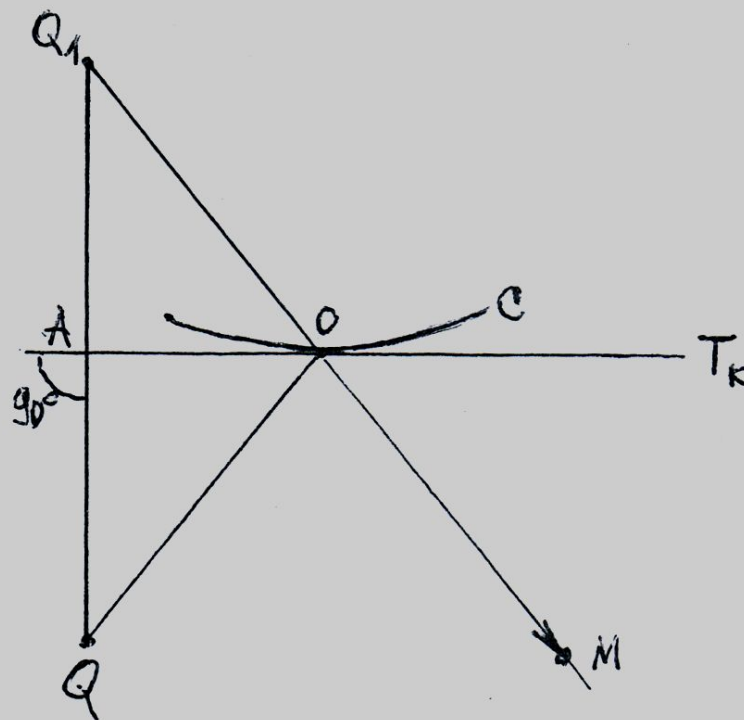
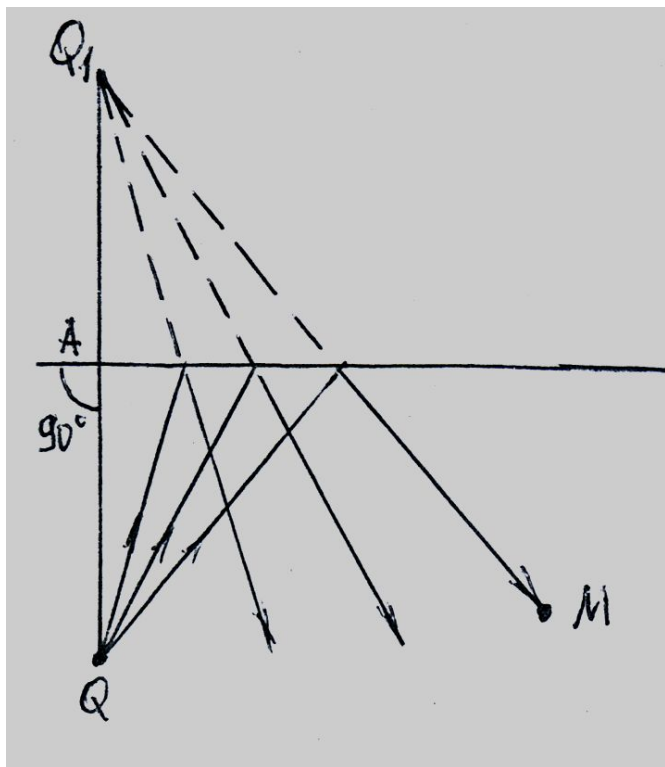
Для предварительной проверки зала на правильность пропорций применим геометрический метод оценки помещения

### Геометрический метод.

- Вместо звуковых волн рассматриваются звуковые лучи, в направлении которых распространяются звуковые волны. (Аналогия с геометрической оптикой).



При построении геометрических отражений от плоскости удобен метод мнимых источников (МИ).





---

Геометрическая акустика дает не только наглядное представление о характере распространения звука ( структура отражений ), но и позволяет количественно оценить такие вопросы, как неравномерное расположение звукопоглотителей, влияние размеров и формы помещения на эффективность мер борьбы с шумом и др.

---