

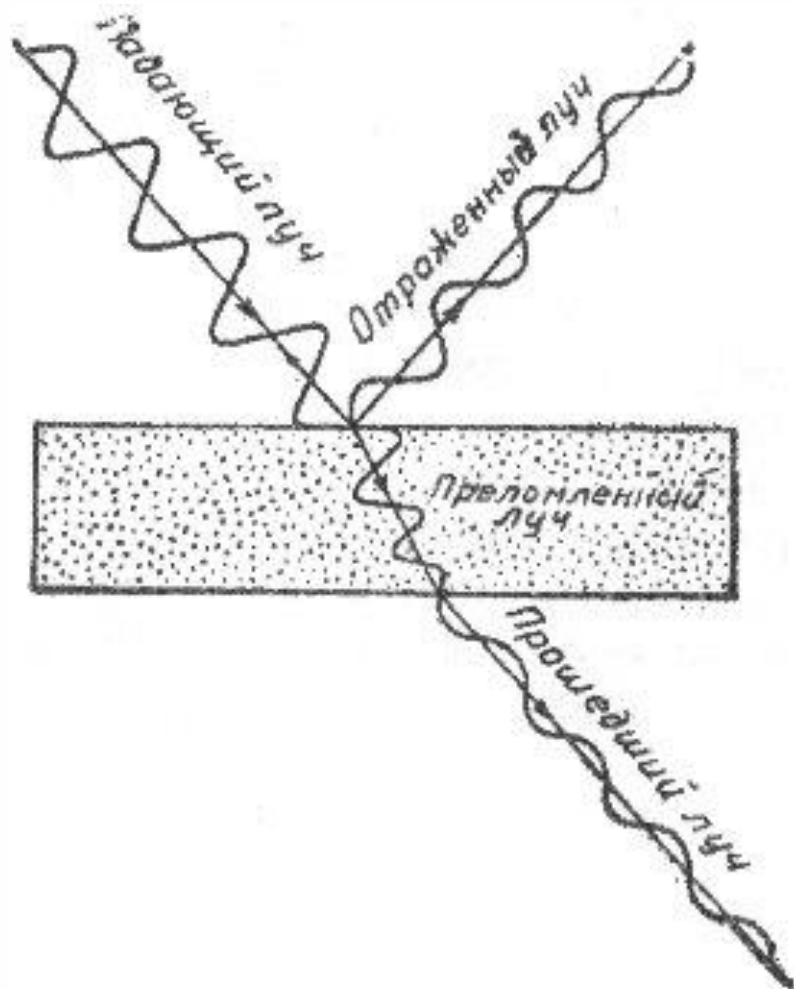
# Строительная акустика

Преподаватель  
Соколов Александр  
Николаевич

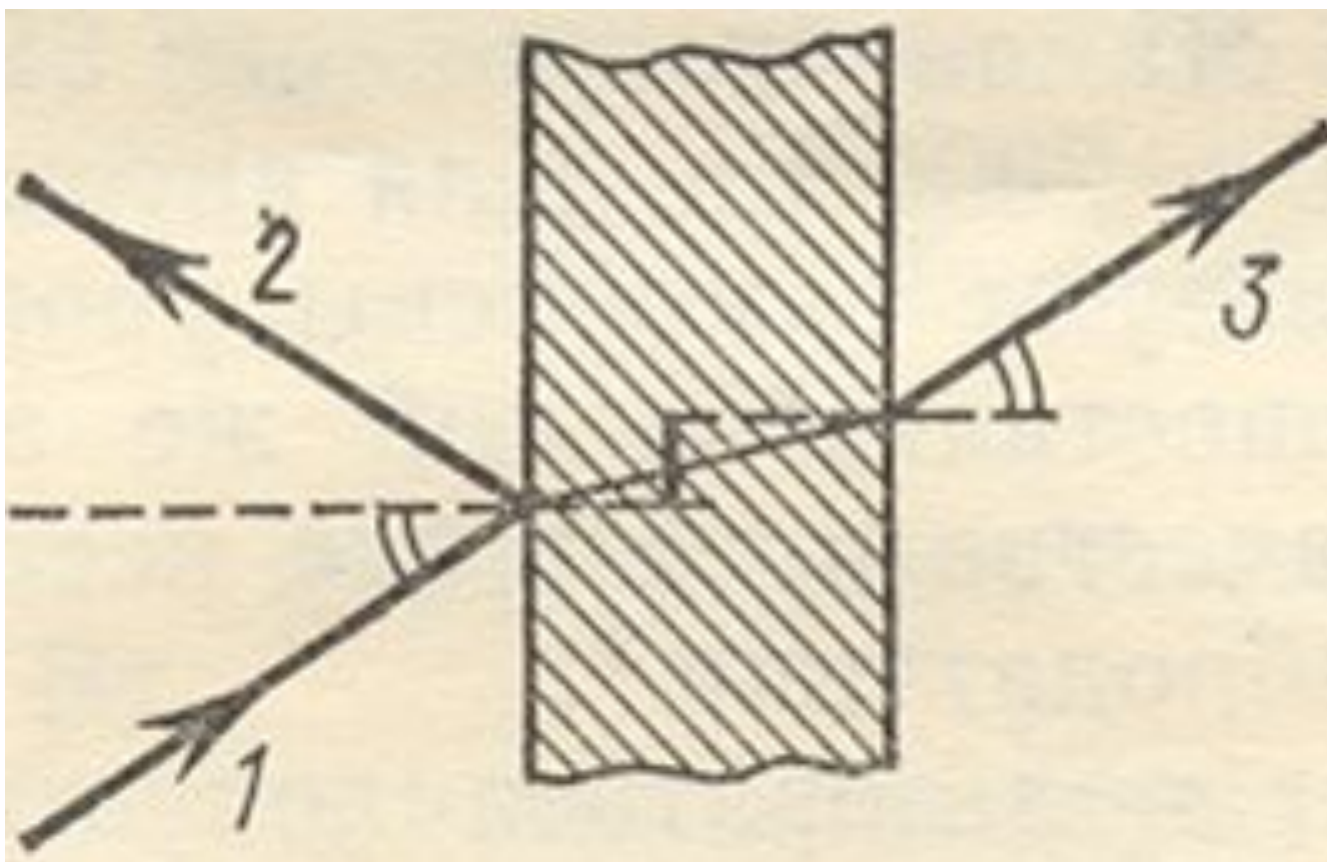
## 2 Лекция - тезисы

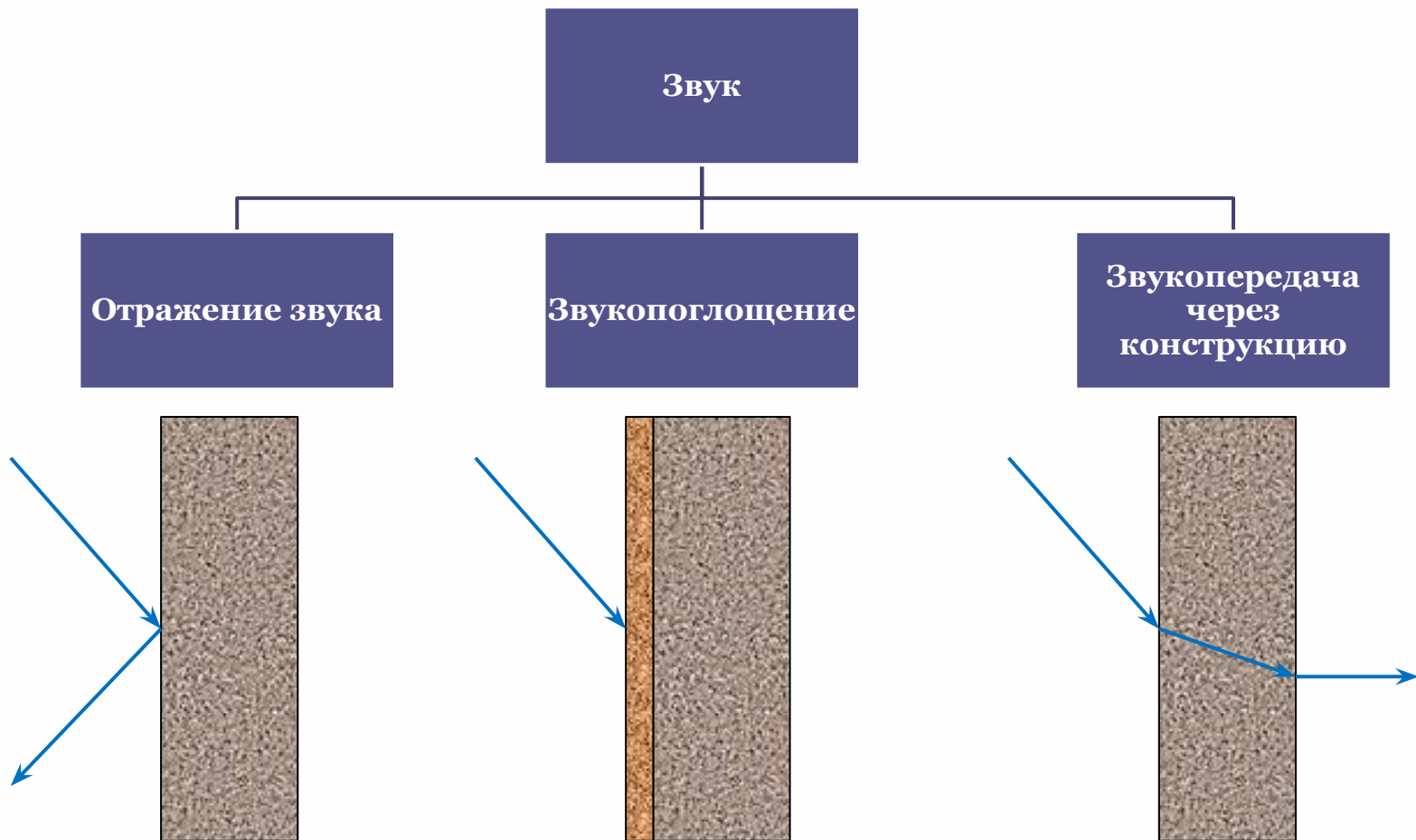
- Звукопоглощающие материалы и конструкции

# Схема прохождения звуковой волны через пористый материал



# Схема отражения и прохождения звука





Путь отражения звука  
 Вопрос: сколько поступающей на конструкцию звуковой энергии будет отброшено назад в помещение?

Путь поглощения звука  
 Вопрос: сколько поступающей на конструкцию звуковой энергии будет поглощено её поверхностью?

Путь звукопередачи через конструкцию  
 Вопрос: сколько падающей энергии пройдёт через конструкцию?

# Коэффициент звукопоглощения

$$\alpha = \frac{E_{\text{погл}}}{E_{\text{пад}}} = \frac{E_{\text{пад}} - E_{\text{отр}}}{E_{\text{пад}}}$$

$E_{\text{пад}}$  - энергия, падающая на ограждение

$E_{\text{отр}}$  - энергия, отражённая

$E_{\text{погл}}$  - энергия, поглощённая

$E_{\text{прошед}}$  - энергия, прошедшая сквозь ограждение

# Коэффициент отражения

$$\beta = \frac{E_{отр}}{E_{пад}}$$

$E_{пад}$  - энергия, падающая на ограждение

$E_{отр}$  - энергия, отражённая

$E_{погл}$  - энергия, поглощённая

$E_{прошед}$  - энергия, прошедшая сквозь ограждение

# Коэффициент звукопередачи (звукопроницаемости или звукопроводности)

$$\tau = \frac{E_{\text{прошед}}}{E_{\text{пад}}}$$

$E_{\text{пад}}$  - энергия, падающая на ограждение

$E_{\text{отр}}$  - энергия, отражённая

$E_{\text{погл}}$  - энергия, поглощённая

$E_{\text{прошед}}$  - энергия, прошедшая сквозь ограждение



## Эквивалентная площадь звукопоглощения поверхности

$$A = \alpha \cdot S \text{ (м}^2\text{)}$$

- **произведение площади поверхности на её коэффициент звукопоглощения**  
(т.е. площадь такой плотностью поглощающей поверхности, которая поглощает столько же энергии, сколько данная поверхность)

# Звукопоглощающие материалы и конструкции

- Фактор формирования звукового поля в зрительных залах для создания наилучших условий восприятия речи и музыки
- Средство борьбы с шумом

## По механизму звукопоглощения

- **Пористые материалы**

поглощают высокие частоты

- **Плитные поглотители (резонансные)**

поглощают низкие частоты

- **Конструкции с перфорированным слоем**

поглощают средние частоты,

звукопоглощающие свойства проектируются

## Звукопоглотители

Служат для того, чтобы сократить время реверберации

### Резонансные поглотители

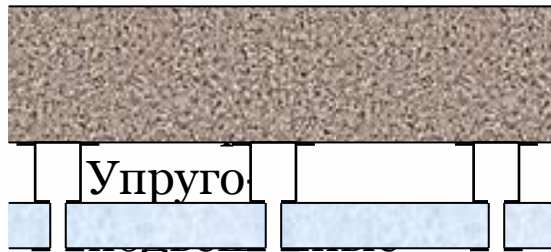
### Пористые поглотители

С точки зрения физики они представляют собой

#### Плитные поглотители

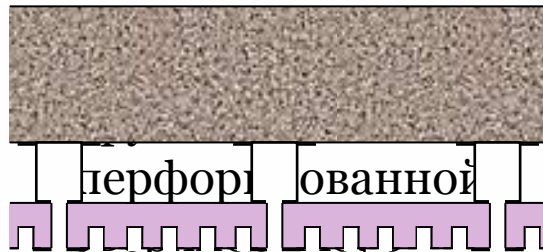
#### Перфорированные поглотители

#### Пористые поглотители



Отделка из гипсокартонных плит

**Поглощают преимущественно низкие частоты**



Отделка из досок с профилированными каймами, шумопоглощающие плиты  
**Поглощают преимущественно средние частоты**  
 мягкая мебель.



Люди, занавески, ковровые покрытия пола, ковры, пенопластовые акустические плиты минераловатные  
**Преимущественно для поглощения высоких частот**  
 пористая грубая штукатурка.

# Пористые звукопоглотители

- **Жёсткие плиты**

пемзолит

акмигран

- **Мягкие плиты (200-250 кг/м<sup>3</sup>) или маты (50-100 кг/м<sup>3</sup>)**

древесноволокнистые минераловатные,  
стекловатные, стекловолокнистые

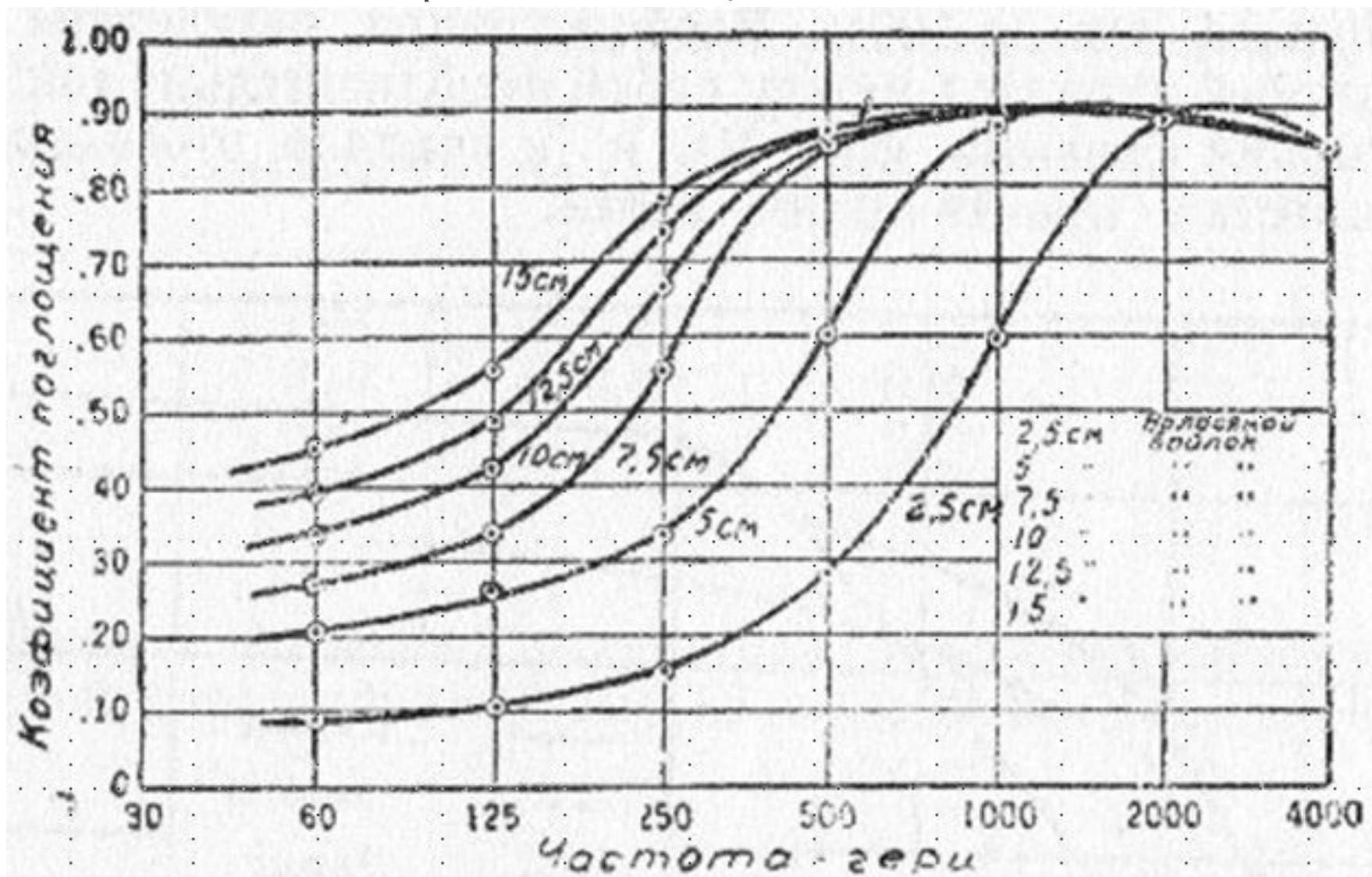
- **Полимерные материалы**

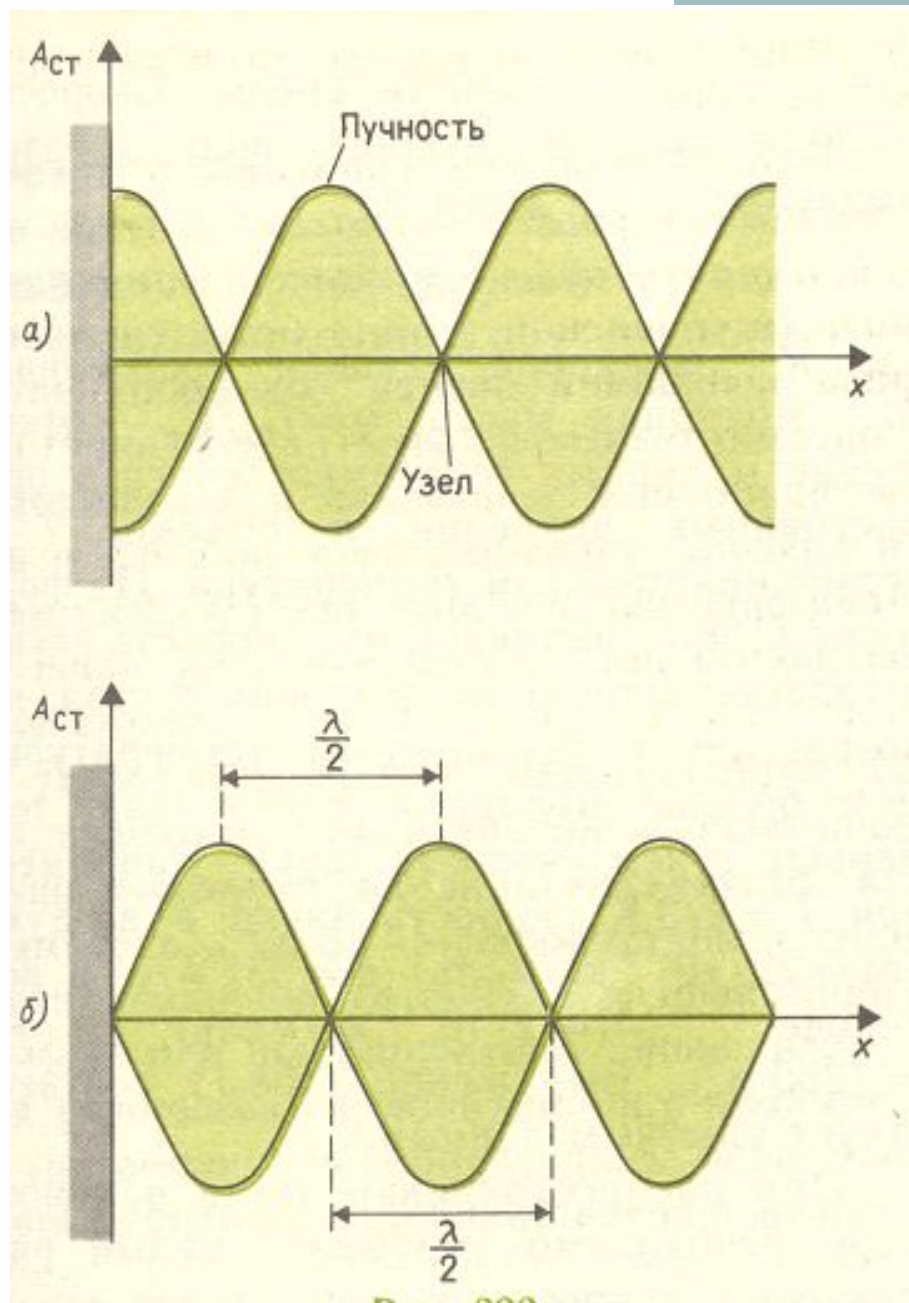
пенополиуретан

- **Тканевые материалы**

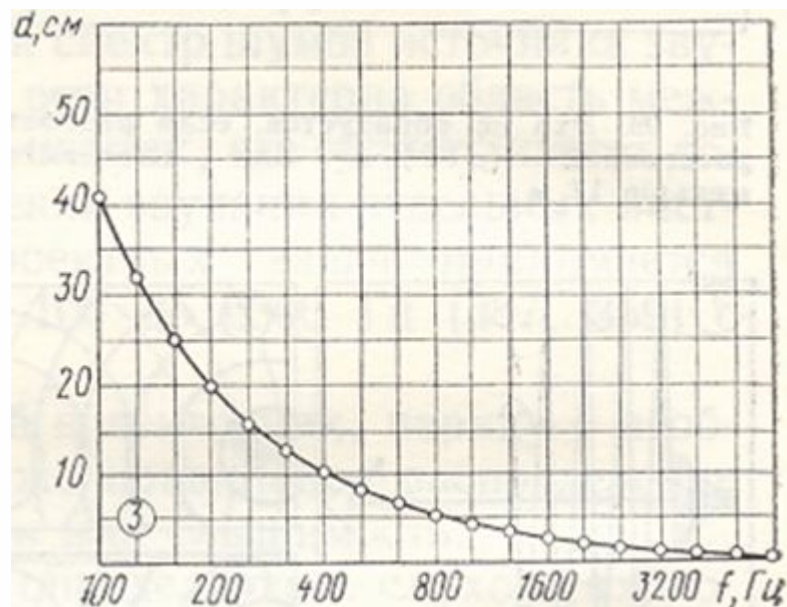
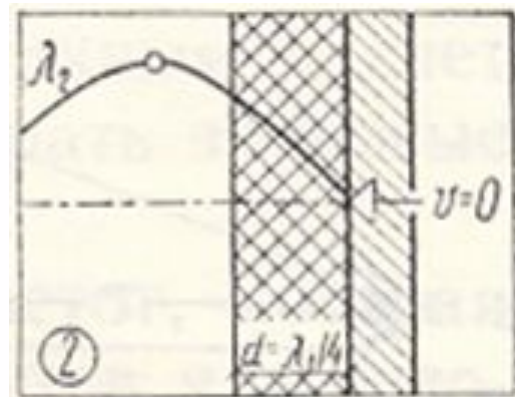
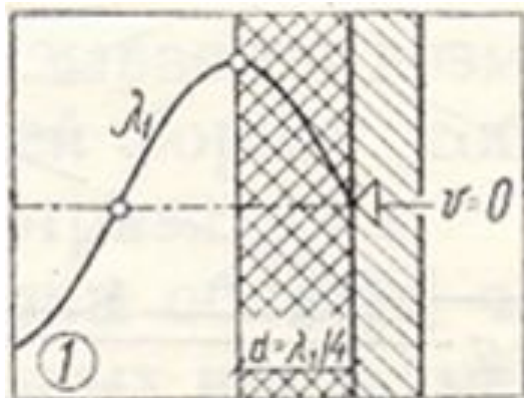
драпировки, ковры

Кривые, показывающие поглотительную характеристику  
волосяного войлока различной толщины





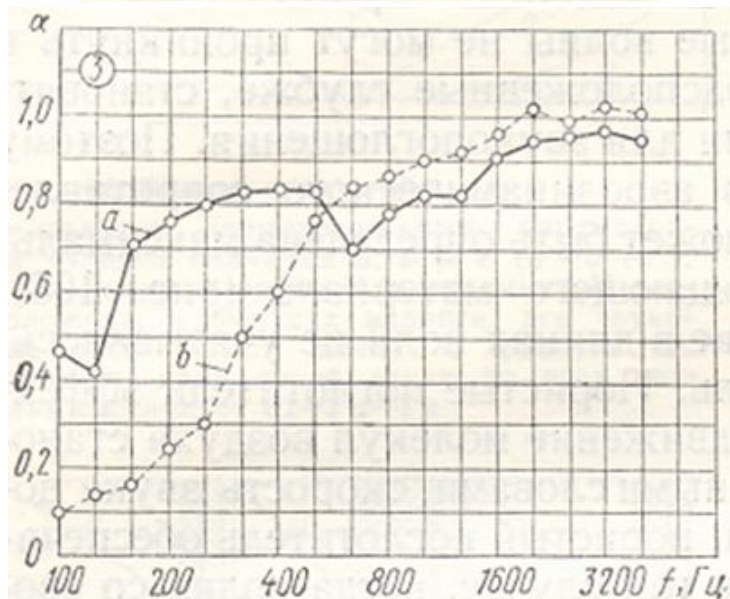
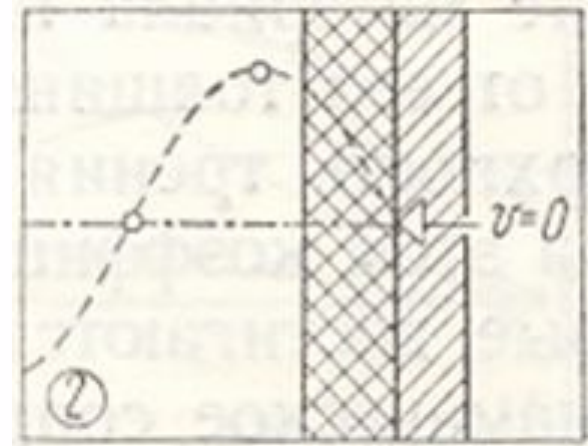
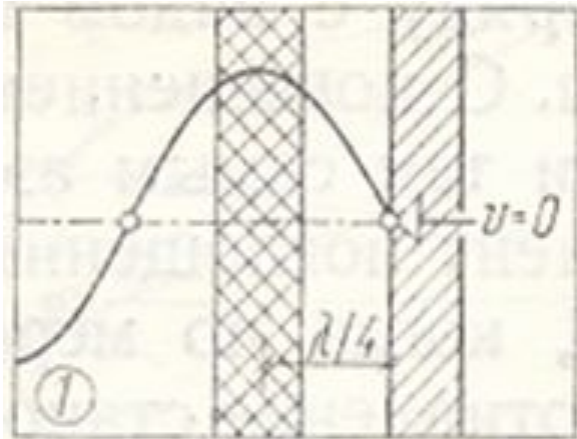
# Влияние толщины слоя пористого поглотителя



2 – толщина слоя  
 3 – требуемая толщина слоя изоляции  $d$  для  $\alpha=0,8$  в зависимости от частоты  $f$  материала, эффективность слоя уменьшается;



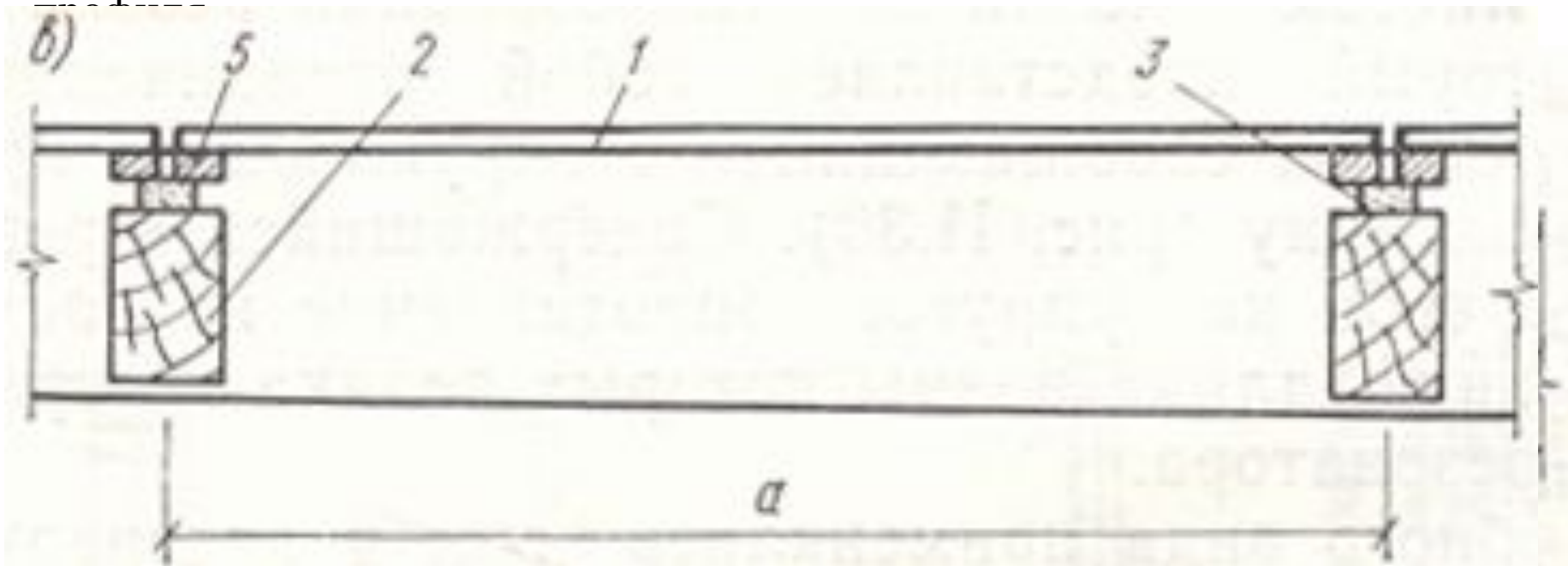
# Влияние расстояния между пористым поглотителем и стеной



$a$  – расстояние между звукопоглощающим слоем и стеной 27 см; звукопоглощения  $\alpha$  плиты из минерального  $b$  – слой прикреплён непосредственно к стене 10 мм, уменьшается;

## Резонирующие панели (плитные резонаторы)

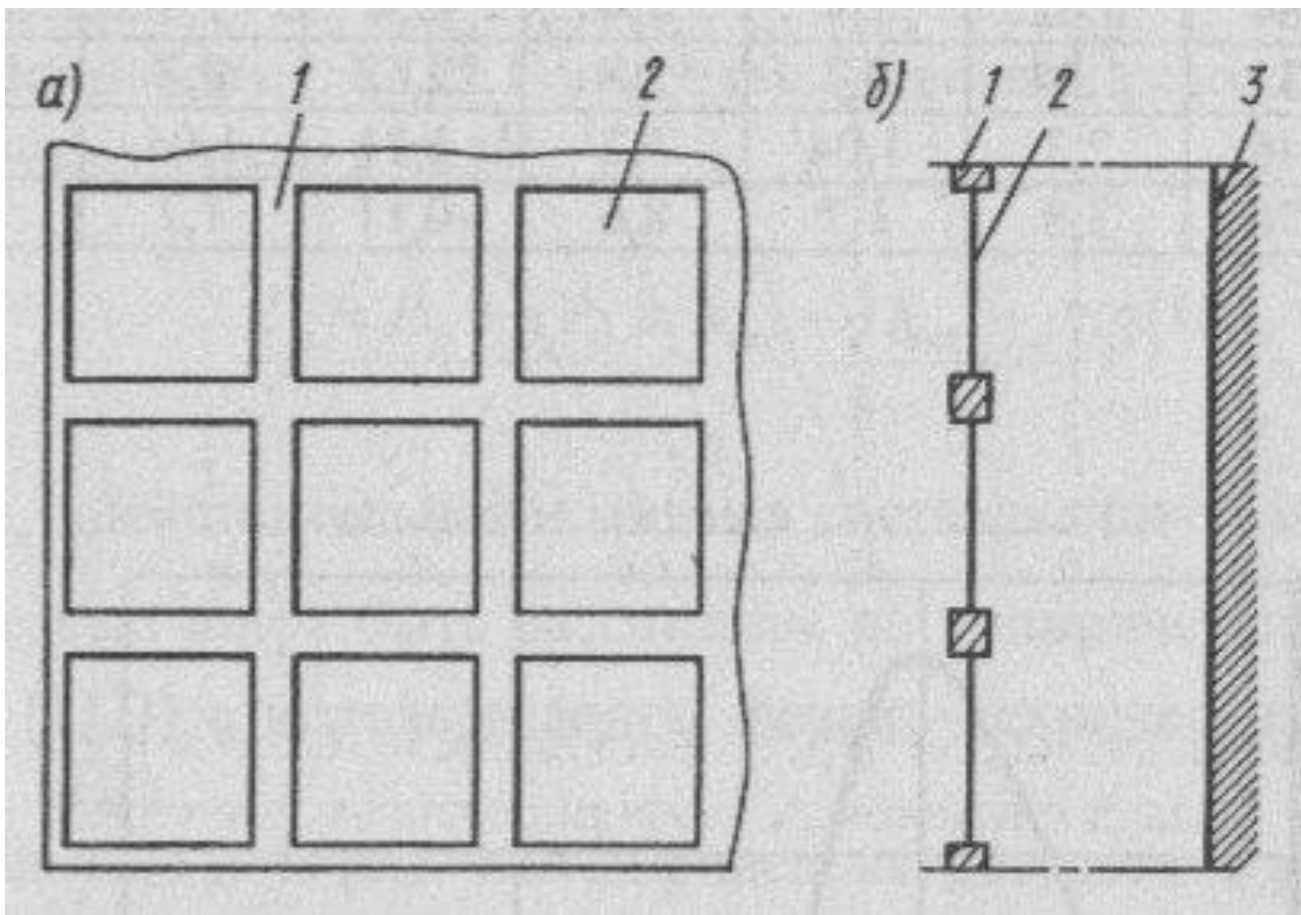
б – полуцили в – плоская деревянная резонирующая панель звукорассеющего



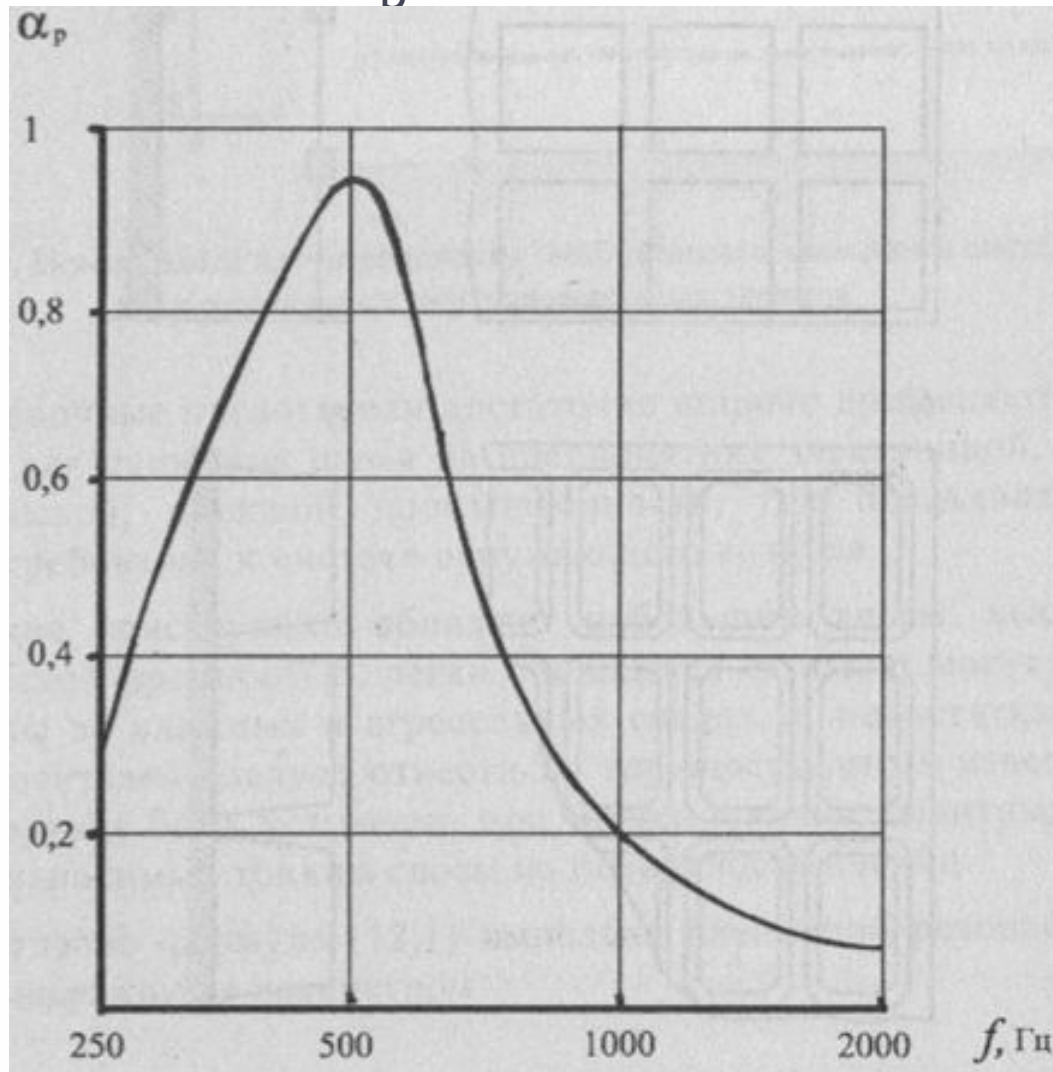
1 – фанера толщиной 10 мм; 2 – деревянный каркас; 3 упругая демпфирующая прокладка; 4 – фанера толщиной 4 мм; 5 – деревянная обвязка, приклеенная к листу фанеры

Архитектурные типы звукопоглощающих деревянных панелей (размеры  $a$  и  $h$  выбираются в соответствии с акустическими требованиями и резонансной частотой колебания)

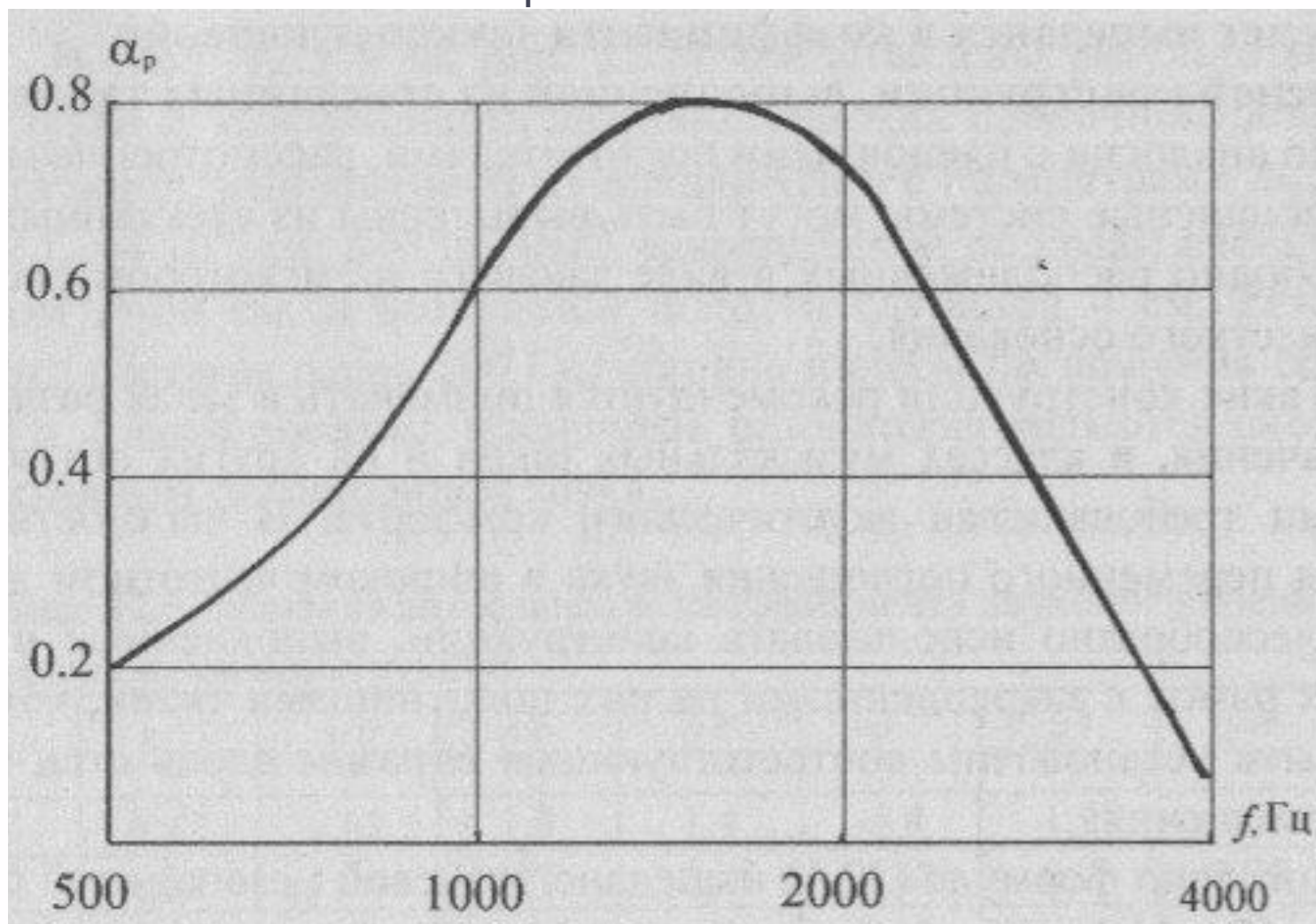
# Плёночные поглотители



# Частотная зависимость коэффициента звукопоглощения $\alpha_p$ плёночной конструкции

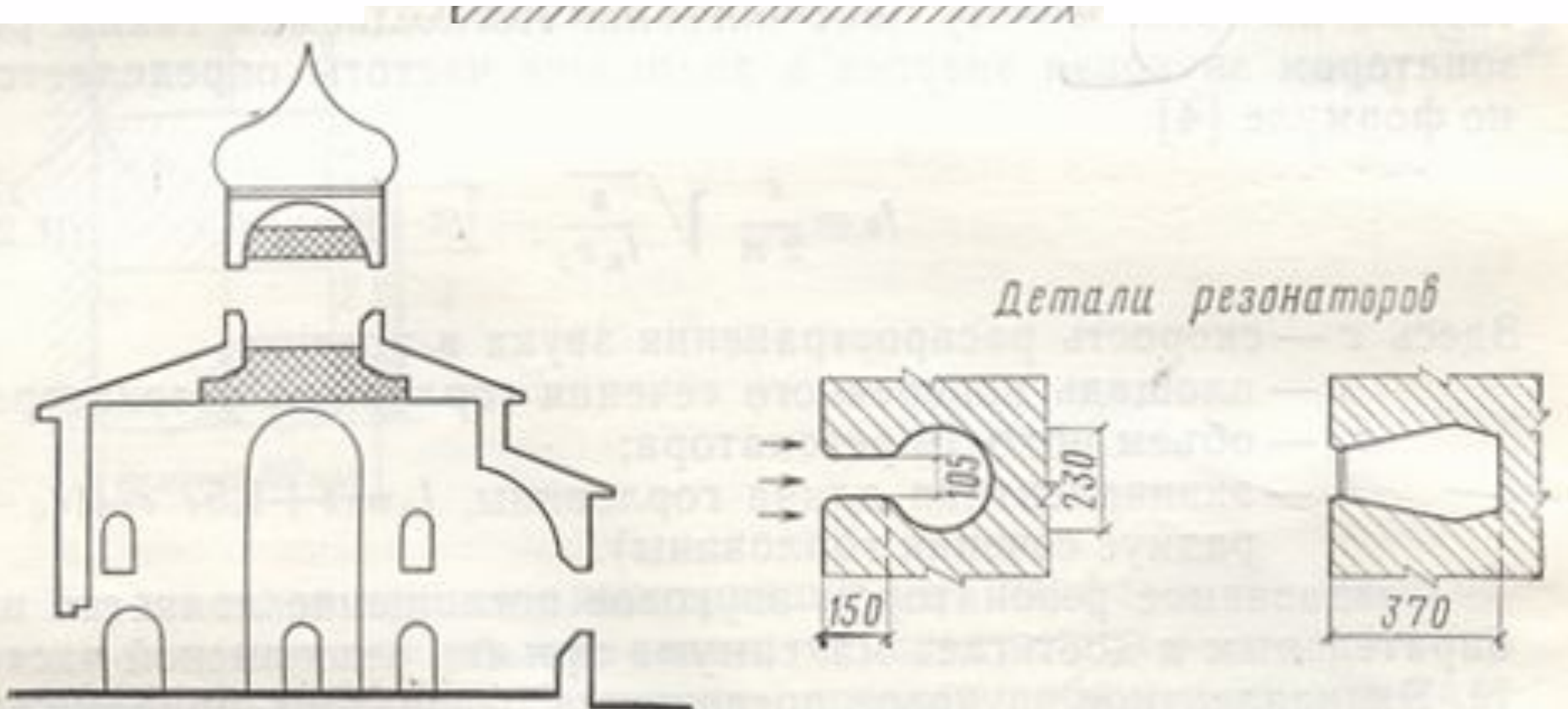


Частотная зависимость коэффициента звукопоглощения  $\alpha_p$  тканевой конструкции

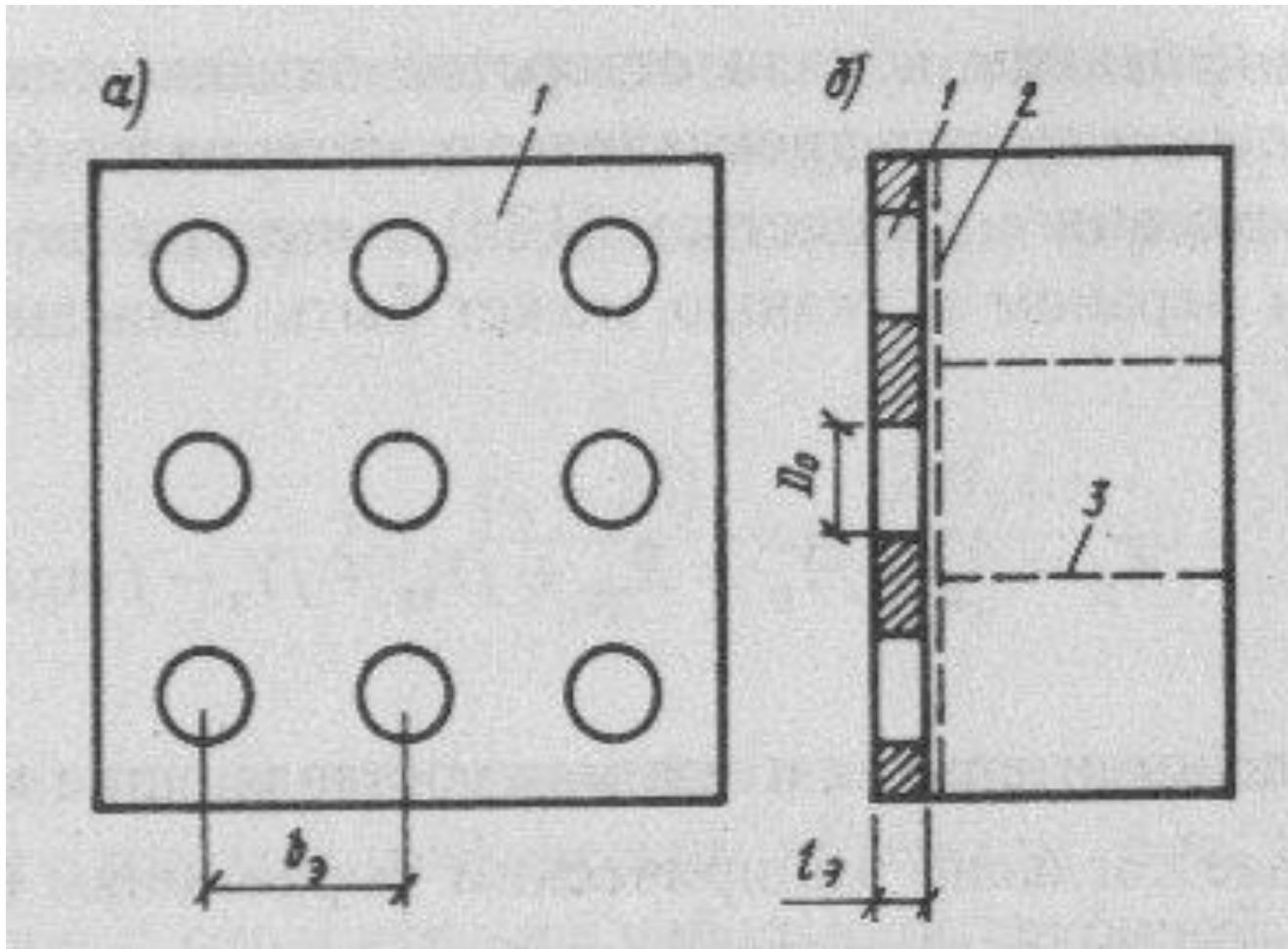


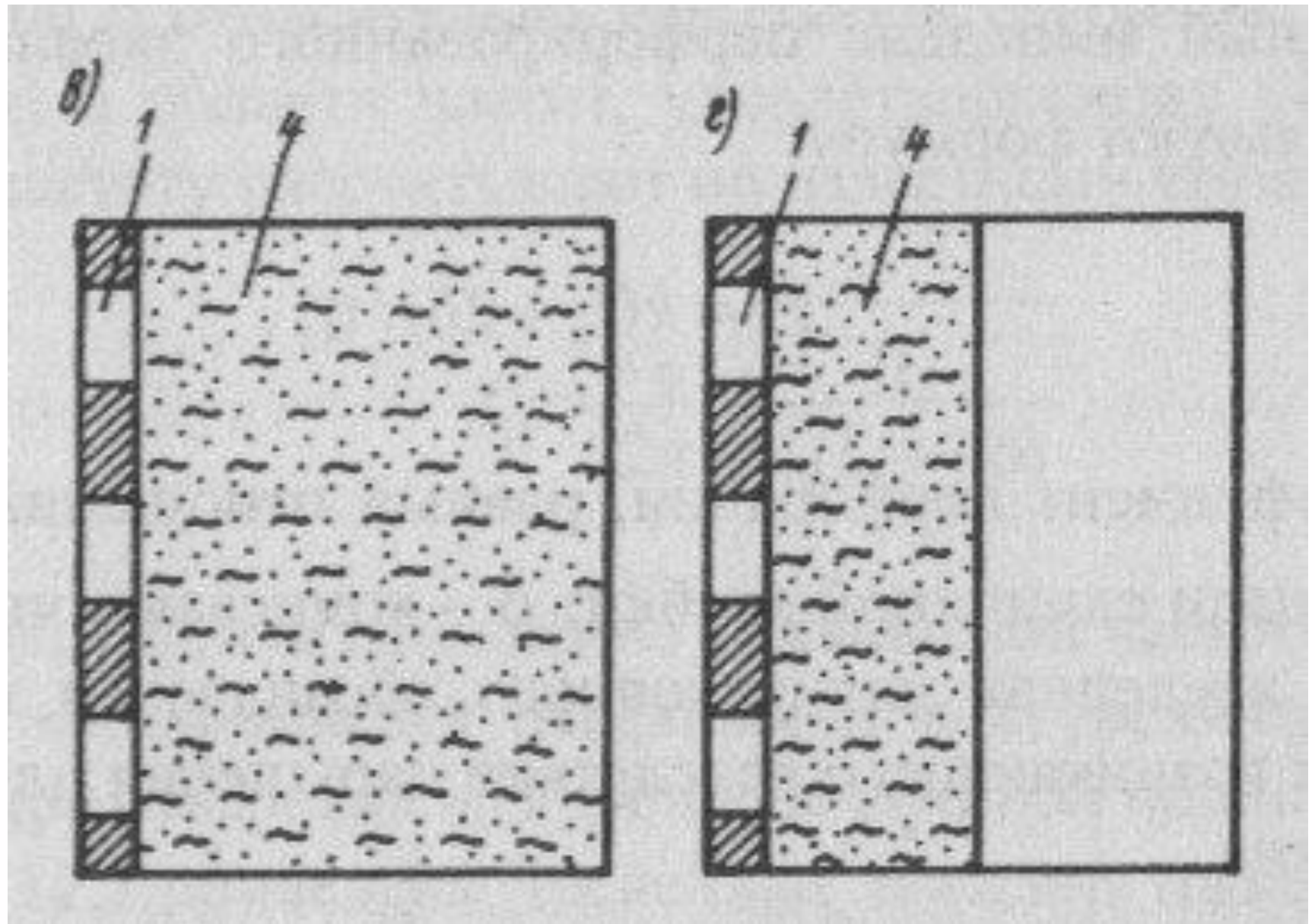
# Резонатор Гельмгольца

Резонаторы (голосийки) для усиления отзвука хора и увеличения времени реверберации, применявшиеся в древнерусских соборах и церквях Новгорода и Пскова (заштрихованы зоны обычного расположения резонаторов)

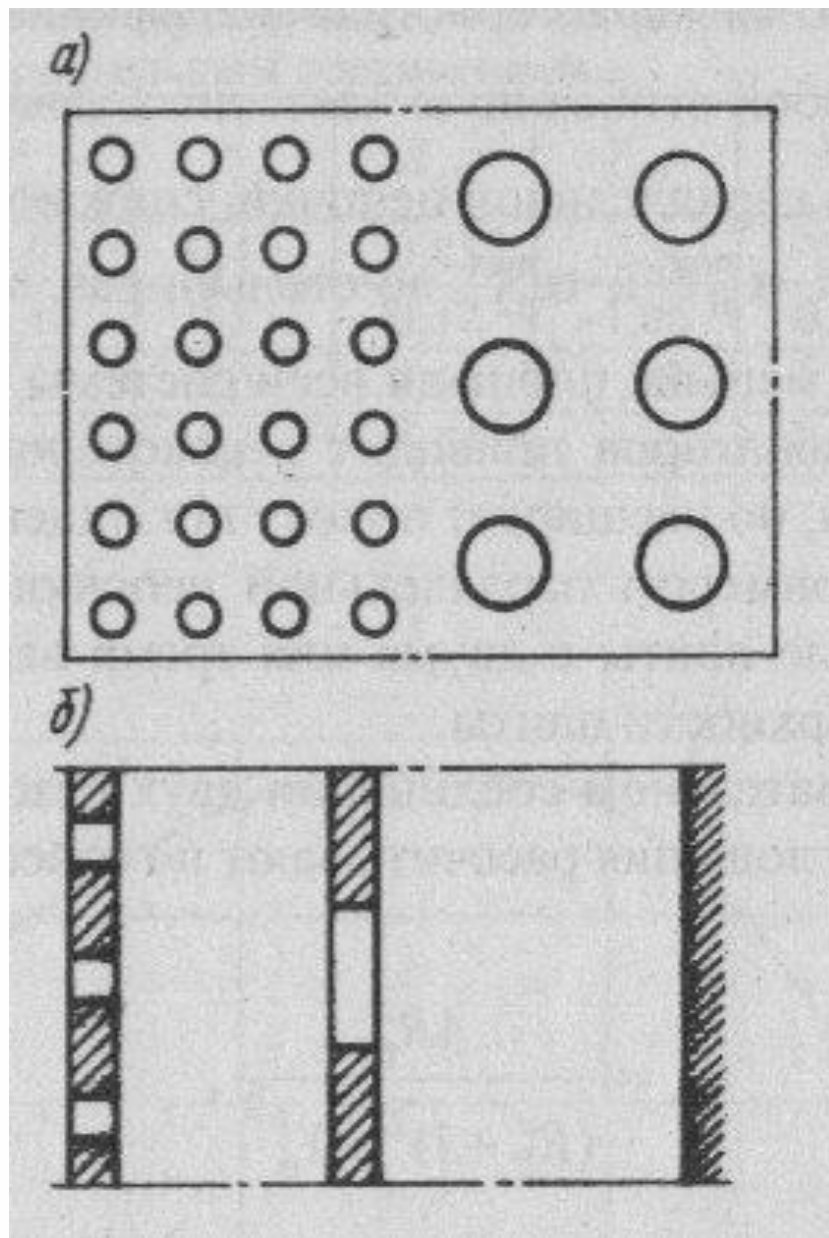


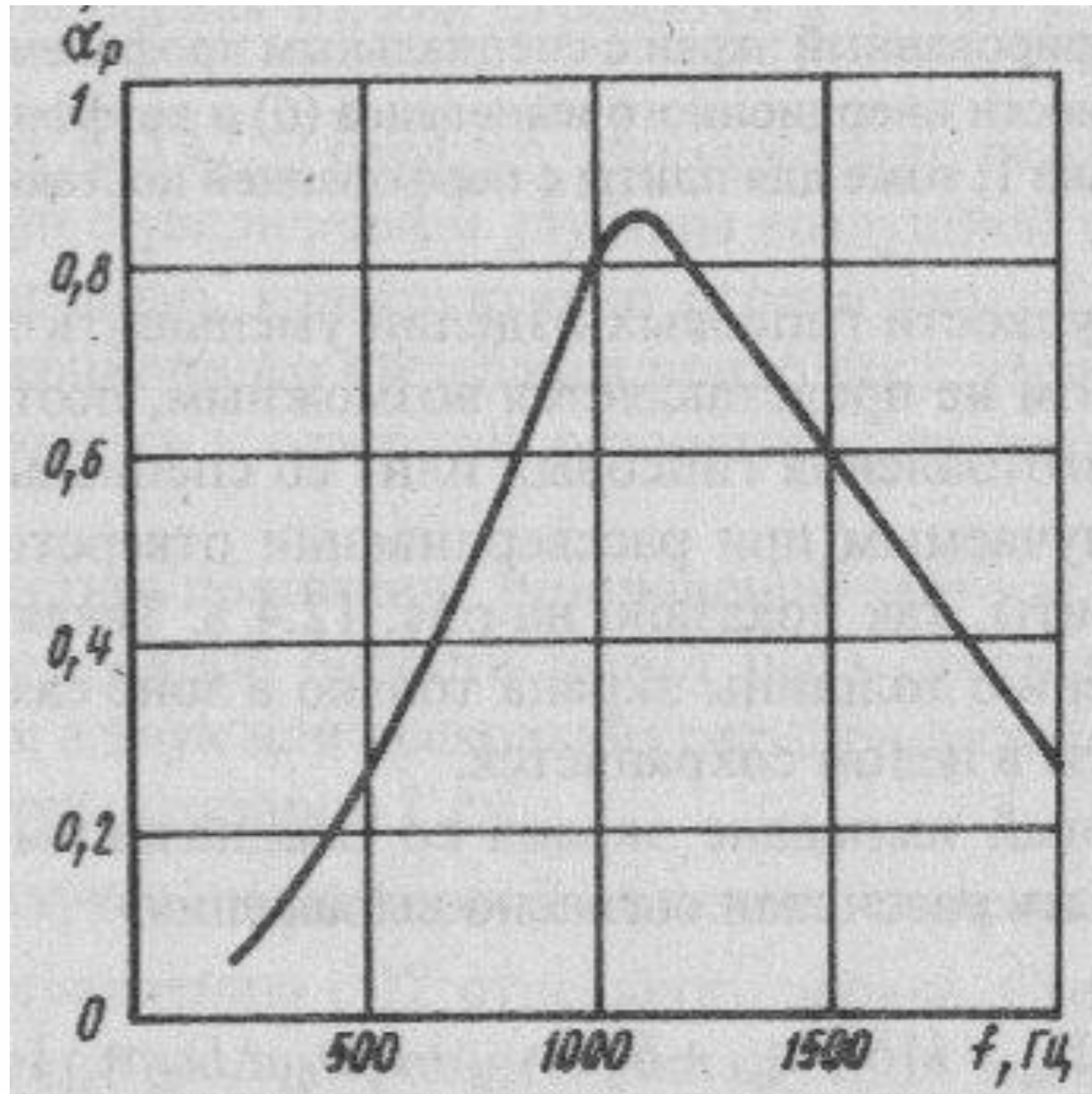
# Конструкции с перфорированным слоем



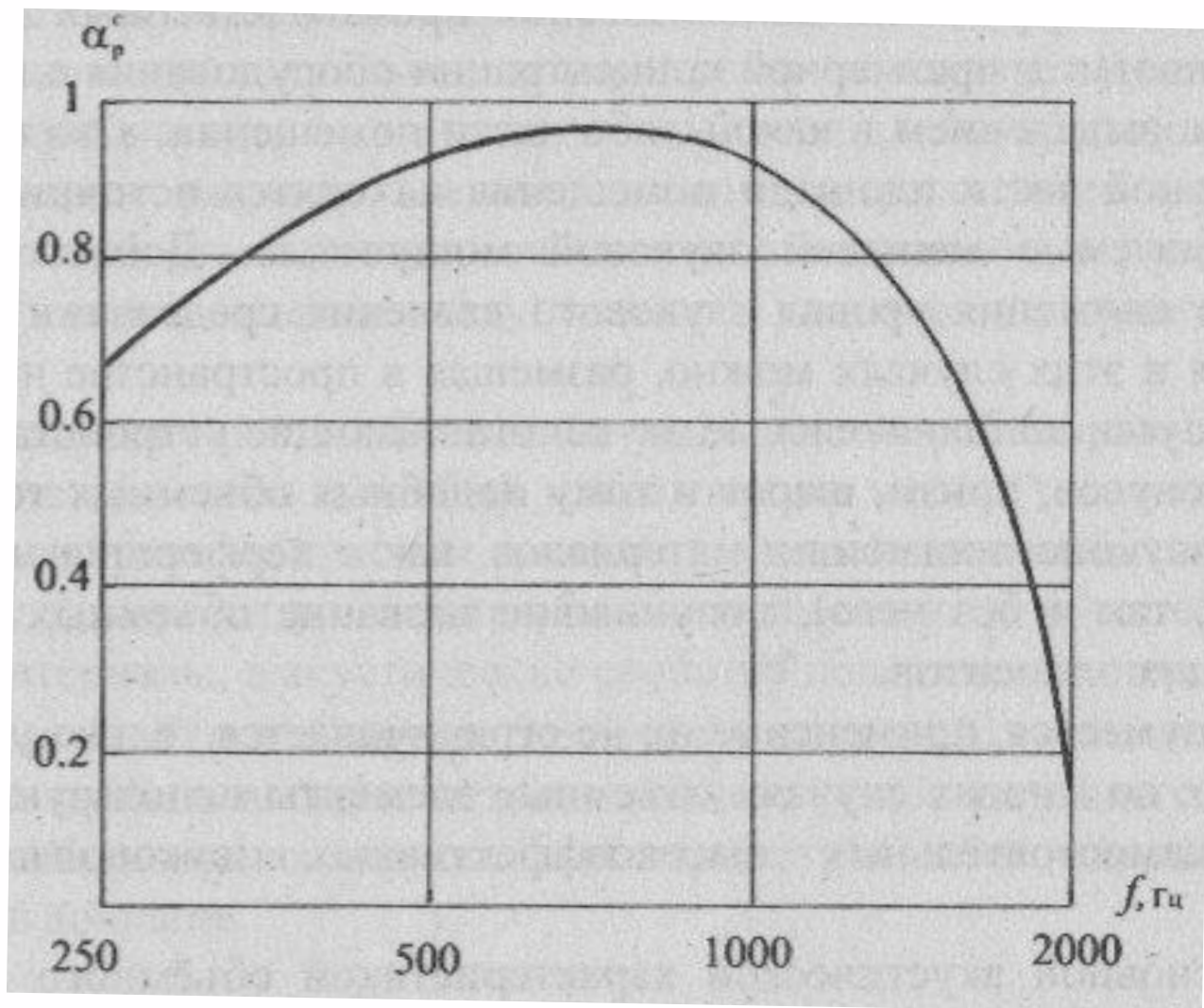




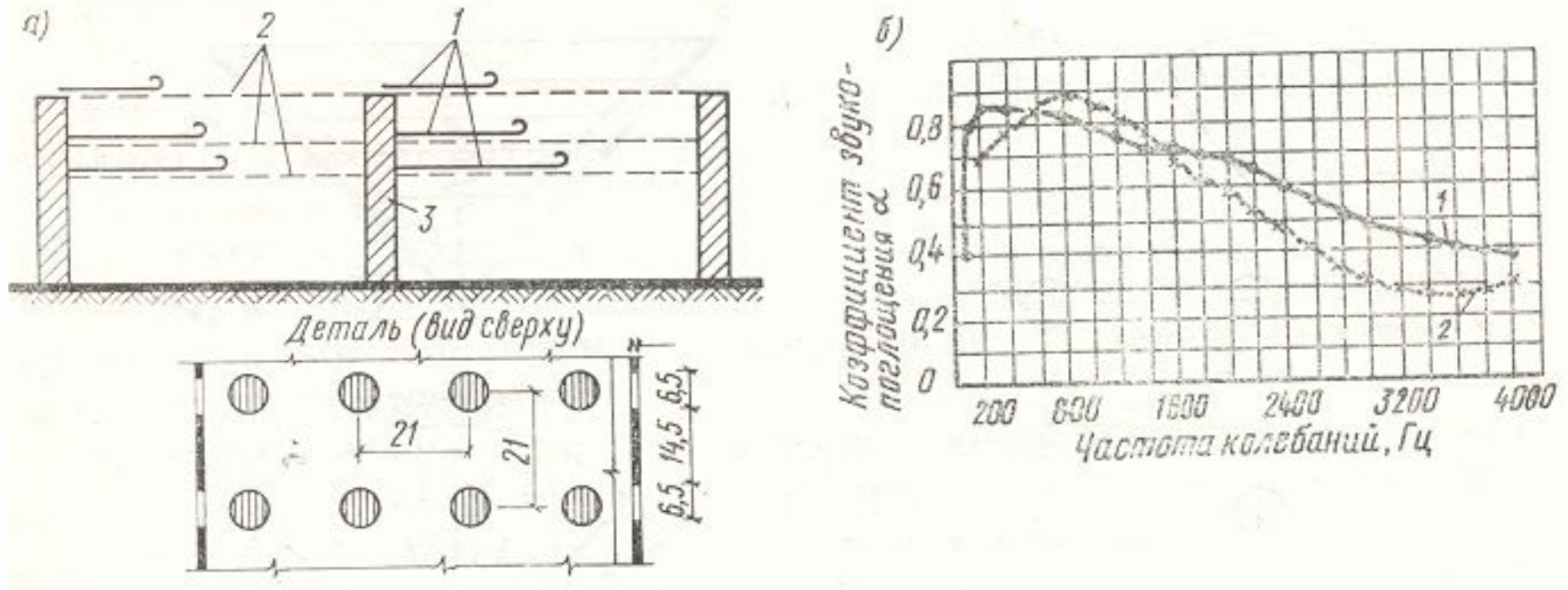




Частотная зависимость коэффициента звукопоглощения двух резонаторов с последовательным соединением

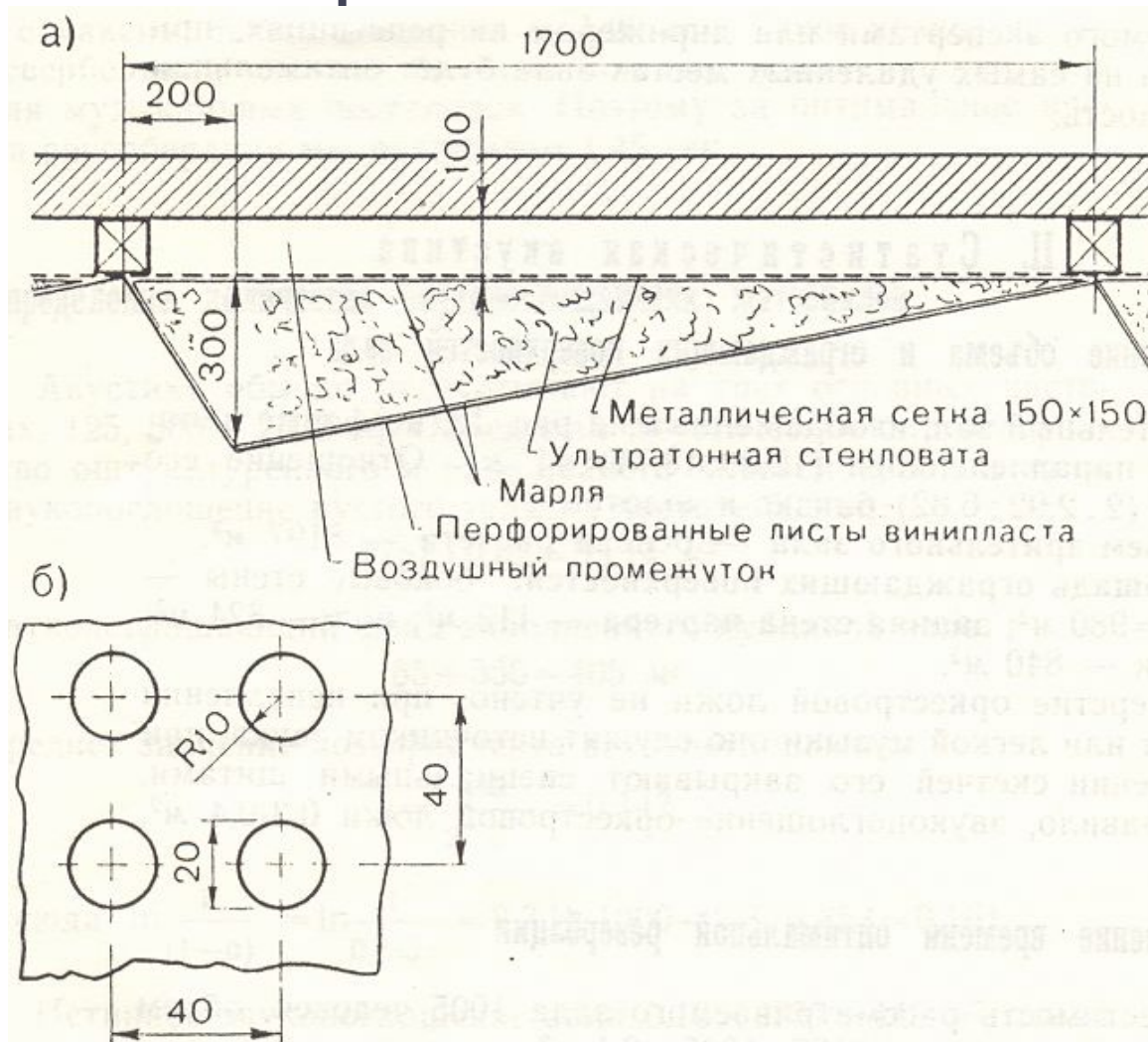


# Частотная характеристика звукопоглощения многослойных конструкций с перфорированными листами



а — конструктивная схема; 1 — наклеенная на лист редкая ткань (срепянка, мешковина и др.); 2 — перфорированный лист оцинкованного железа; 3 — каркас; б — частотная характеристика многослойных конструкций с перфорированным слоем; 1 — расчетная характеристика звукопоглощения; 2 — характеристика звукопоглощения, измеренная в лаборатории

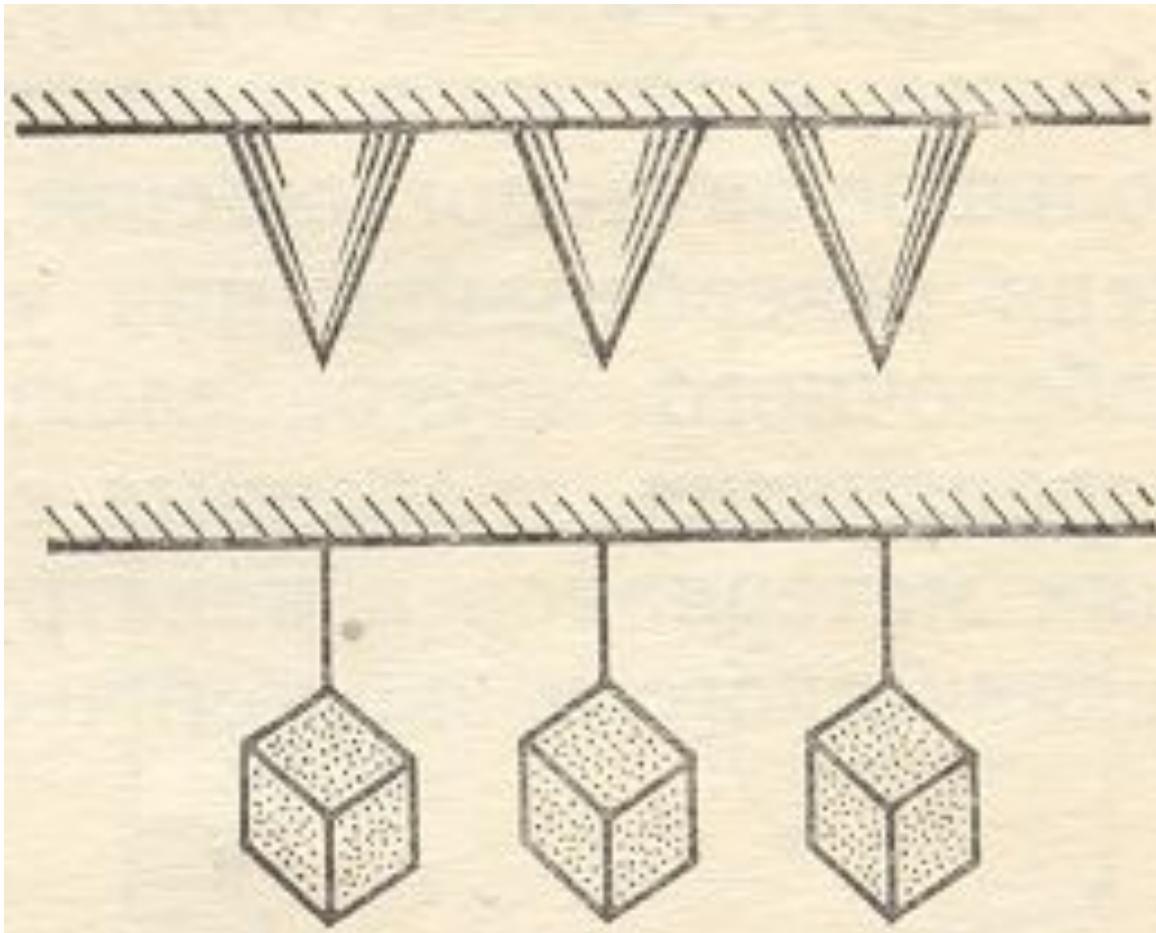
# Звукопоглощающая конструкция для облицовки стен зала



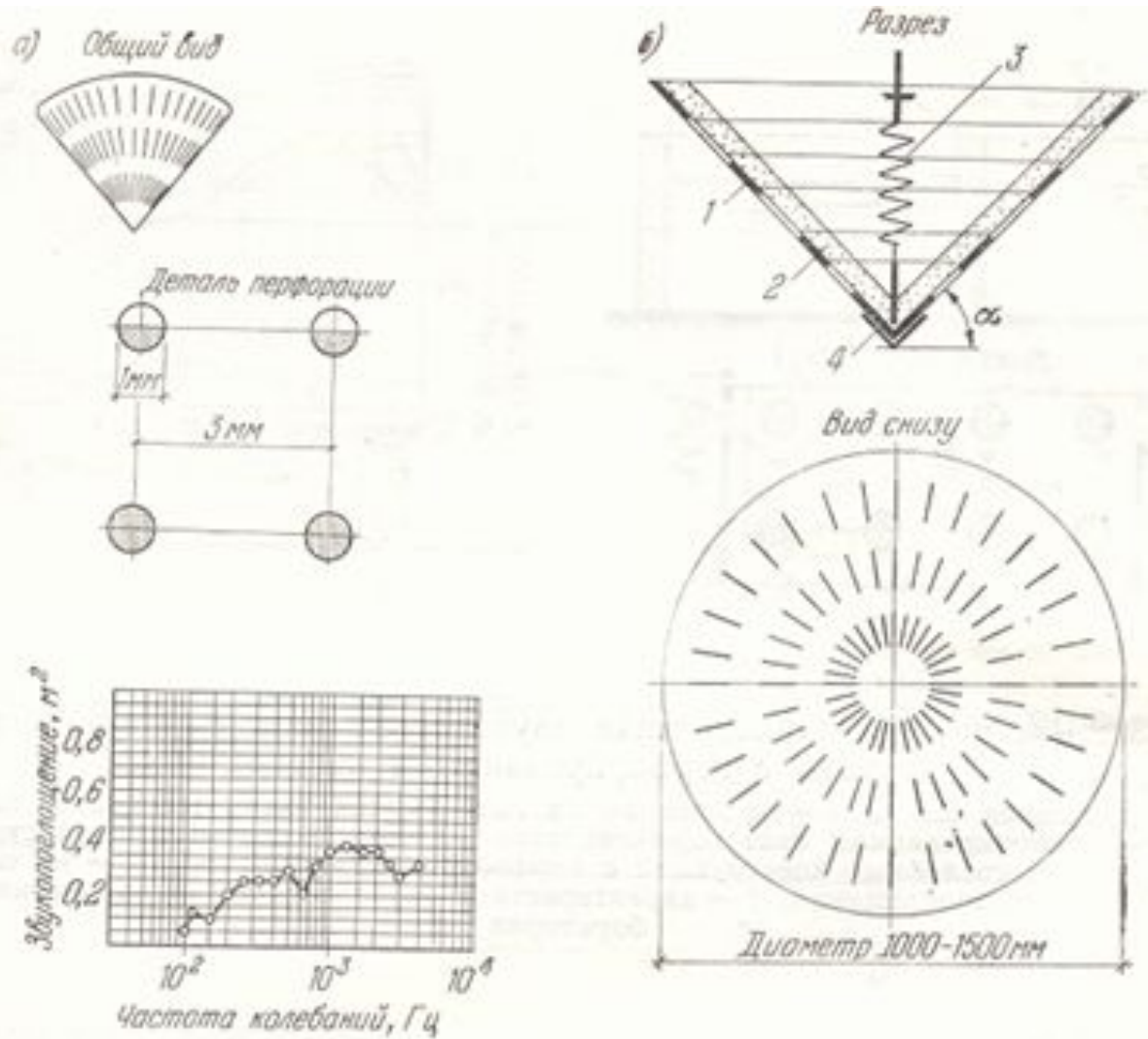
а – сечение звукопоглощающей конструкции;

б – перфорация звукопоглощающей конструкции

# Схемы штучных звукопоглотителей



# Подвесной поглотитель дифракционного типа (угол наклона $\alpha$ выбирается по архитектурным соображениям)



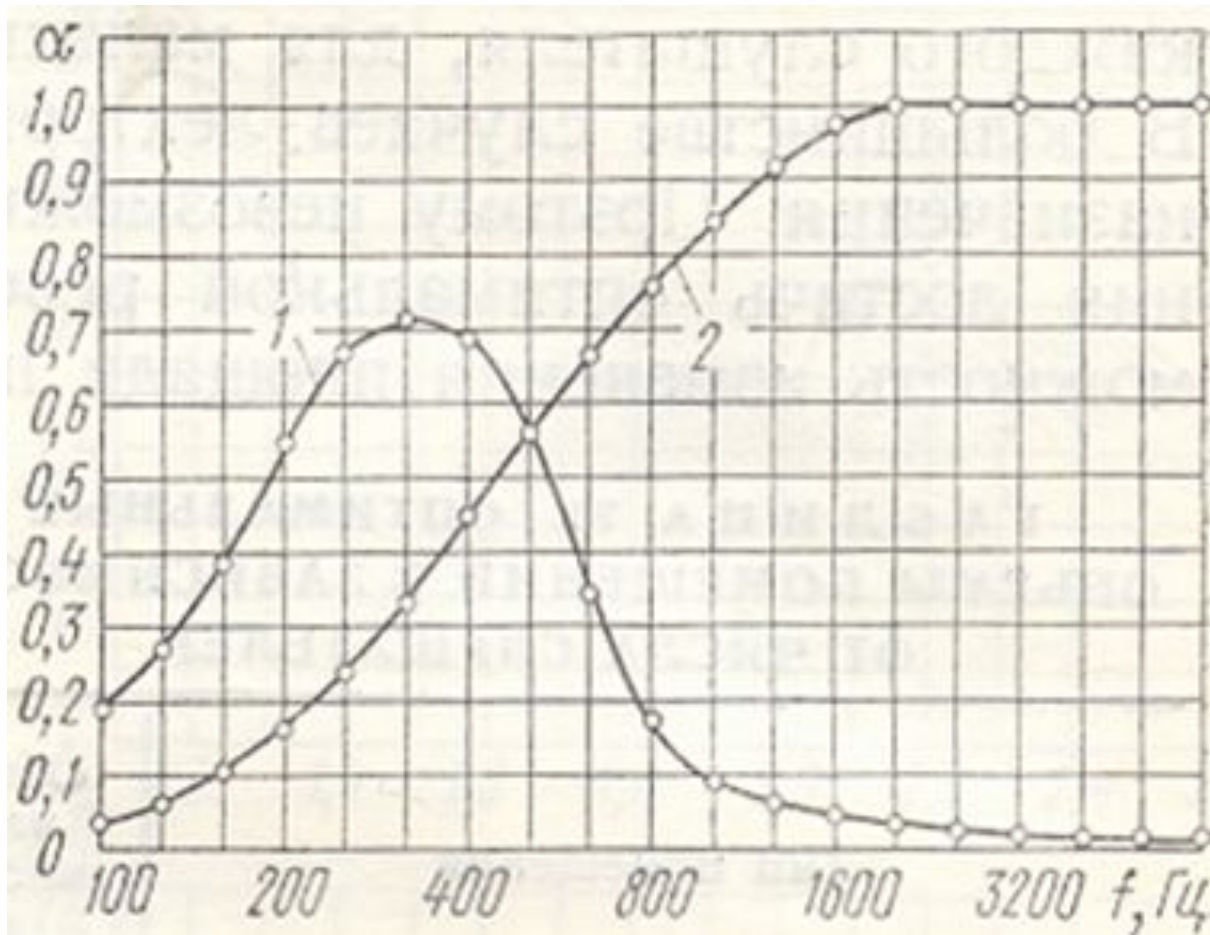
а – общий вид поглотителя;  
 б – разрез и план поглотителя;  
 1 – кожух из перфорированной фольги толщиной от 15 до 0.4 мм (диаметр перфорации 1 мм, шаг перфорации 3 мм);  
 2 – мат из минерального волокна плотностью 150-230 кг/м<sup>3</sup> в обёртке из грубой ткани или мешковины;  
 3 – крепёжная пружина;  
 4 – колпачок

Вид поглотителя	Коэффициенты звукопоглощения при среднегеометрической октавной частоте, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Бетонная гладкая поверхность	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
Пористые плиты ПА/О толщиной 20 мм вплотную к ОК	0,01	0,17	0,68	0,98	0,86	0,45
Занавес тяжелый (9 см от стены)	0,06	0,10	0,38	0,63	0,70	
Резонирующие панели (фанера толщиной 4 мм, воздушный промежуток 50 мм)	0,17	0,26	0,14	0,10	0,09	0,04
Конструкция с перфорированным слоем (пластик или фанера толщиной 3 мм, слой ультратонкой стекловаты толщиной 100 мм на металлической сетке, воздушный промежуток 100 мм, диаметр перфорации 20 мм, шаг перфорации 40 мм)	0,62	0,82	0,78	0,75	0,78	0,80



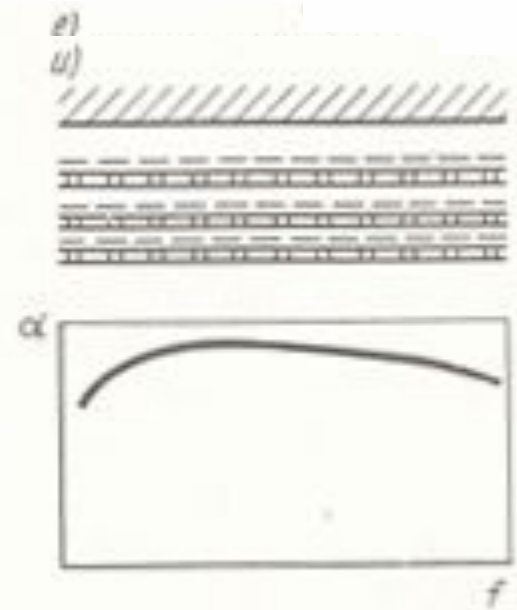
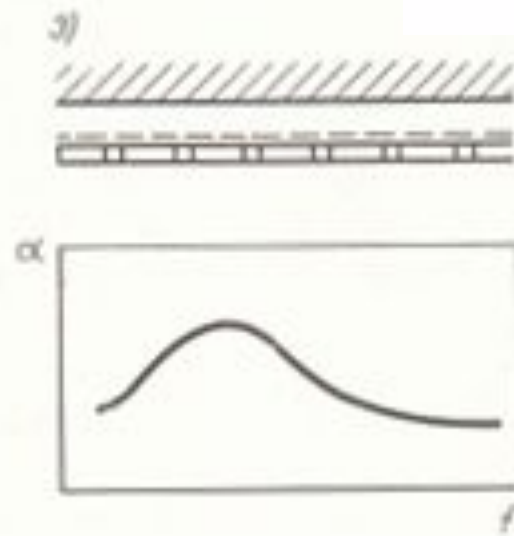
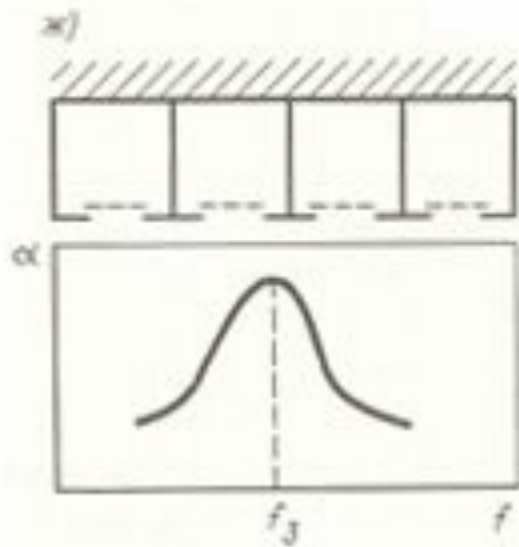
8.	Гипсокартонные плиты перфорированные 30 мм минераловолокнистое заполнение 20 см расстояние до перекрытия	0,40	0,95	0,90	0,70	0,70	0,60
9.	ДВП – легкие $d = 25$ мм, жестко связанные со стеной	0,05	0,10	0,50	0,75	0,60	0,70
10.	Профильные доски шириной 100 мм с 10 мм открытыми швами. Пустота заполнена минеральноватными плитами 20 мм толщиной: при расстоянии до потолка 30 мм при расстоянии до потолка 200 мм	0,10 0,40	0,25 0,70	0,80 0,50	0,70 0,40	0,30 0,35	0,40 0,30
11.	Акустические плиты толщиной 2 см: наклеенные на стену на расстоянии 2 см (по обрешетке)	0,05 0,10	0,15 0,20	0,55 0,85	0,50 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0
12.	Ковролин 7 мм	0,05	0,05	0,15	0,30	0,50	0,60
13.	Настенные ковры на расстоянии от стены 50 мм	0,10	0,40	0,90	0,80	0,90	0,90
14.	Занавеси (среднее значение)	0,05	0,10	0,25	0,30	0,40	0,50

# Свойства двух видов звукопоглотителей. Типичный вид кривых коэффициента звукопоглощения



1 – коэффициент поглощения резонаторов в виде обычных и перфорированных плит и резонаторов Гельмгольца;

2 – то же, пористых поглотителей



Снижение уровней звукового давления в зоне отражённого звука

$$\Delta L = 10 \lg \frac{k_2 B_2}{k_1 B_1}$$

$B_1 B_2$  – акустические постоянные помещения до и после устройства звукопоглощающих конструкций

$k_1 k_2$  – коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля, зависящий от  $\bar{\alpha}$

# Акустическая постоянная помещения

$$B = \frac{A_{\text{полн}}}{1 - \bar{\alpha}}$$

$A_{\text{полн}}$  – эквивалентная площадь  
звукопоглощения помещения, м<sup>2</sup>

$\bar{\alpha}$  – средний коэффициент  
звукопоглощения

$$\bar{\alpha} = \frac{A_{\text{полн}}}{\sum S_i}$$

## Коэффициент учитывающий нарушение диффузности звукового поля

$\bar{\alpha}$	$k$
0,2	1,25
0,4	1,6
0,5	2,0
0,6	2,5

$$\Delta L = 10 \lg \frac{k_2 B_2}{k_1 B_1}$$

$$\Delta L = 10 \lg \frac{B_2}{B_1} \Rightarrow B_2 = B_1 \cdot 10^{0,1 \Delta L}$$

$$B_2 = \frac{A_{\text{полн } 2}}{1 - \bar{\alpha}_2}, \quad \bar{\alpha}_2 = \frac{A_{\text{полн } 2}}{\sum S_i} \Rightarrow A_{\text{полн } 2} = \frac{B_2 \cdot \sum S_i}{B_2 + \sum S_i}$$

$$\Delta A_{\text{полн}} = A_{\text{полн } 2} - A_{\text{полн } 1}$$

$$\bar{\alpha}_{\text{требуемое облицовки}} = \alpha_1 + \frac{\Delta A_{\text{полн}}}{S_{\text{облицовки}}}$$