

# **Архитектурно- строительная акустика**

Архитектурная акустика – наука,  
изучающая приемы и правила  
разработки оптимальных условий  
слышимости речи и музыки в  
помещениях массового  
пользования

**Звук** – механические колебания  
(волны) упругого тела или среды в  
частотном диапазоне слышимости  
человека.

## Характеристики звука:

1) **звуковое давление** ( $p$ , Па) – разность между атмосферным давлением и давлением в точке звукового поля;

2) **интенсивность звукового давления**

( $I$ , Вт/м<sup>2</sup>) – ощущается человеком как **громкость звука**.

(\* Размах, или амплитуда, колебаний определяет громкость звука (чем сильнее ударить по струне гитары или отклонить ее, тем сильнее она колеблется и тем сильнее звук)).

$I_0 = 1 \cdot 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup> – порог слышимости.

**Изменение** звукового давления и  
интенсивности **огромно** и составляет  
соответственно  $10^7$  и  $10^{14}$  раз;  
**пользоваться ими неудобно**, поэтому  
введены **логарифмические величины**:

3) уровень звук. давления (дБ):

$$L_p = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0}$$

4) уровень интенсивности звука (дБ):

$$L_I = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0}$$

В этих формулах  $p_0$  и  $I_0$  – значения, соответствующие порогу слышимости.

Почему соотношение **логарифмическое**?

Потому что наше ухо слышит в логарифмическом масштабе.

Почему в **децибелах**?

Для того, чтобы **избежать десятих долей** и запятых, которые будут в Беллах.

**Диапазон восприятия звука** органами слуха человека составляет:

**Порог слышимости** (нижний предел ощущения звука)

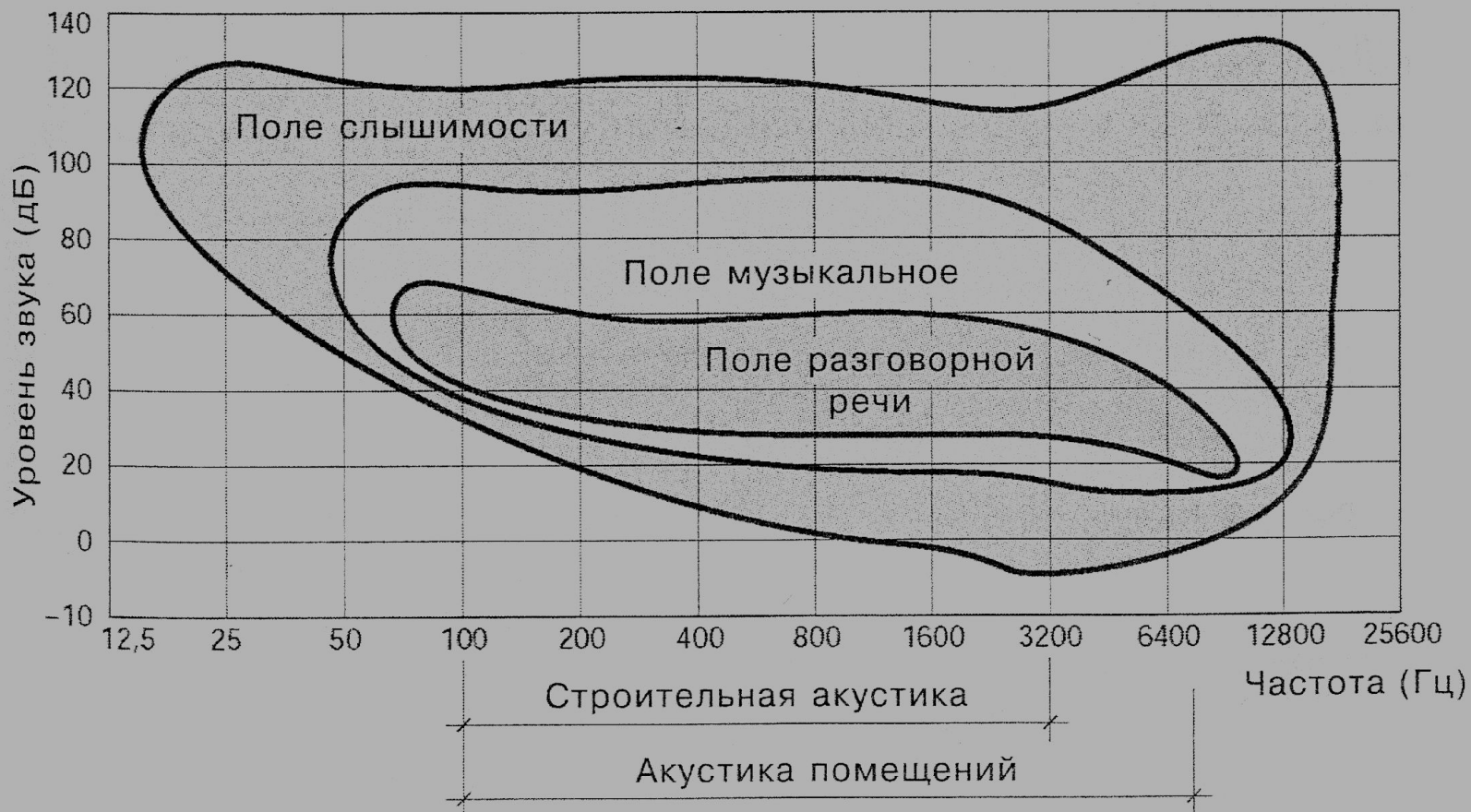
$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}; L_0 = 0 \text{ дБ.}$$

(звук еще **не может быть услышан**).

(то есть разность давлений для уха человека равна нулю) - ?

**Болевой порог** (восприятие звука как **болевого ощущения**)

$$p_0 = 2 \cdot 10^2 \text{ Па}; L_0 = 120 \text{ дБ.}$$





## Абсолютные уровни звукового давления

Источник шума	Уровень звукового давления, дБ
Порог слышимости	0
Тихий шелест страниц	20
Библиотека	30
Спокойная улица в жилом районе	40
Разговорная речь	50
Уличный шум большого города	60
Телефонный звонок на расстоянии 1 м	70
Улица с интенсивным уличным движением	80
Мотоцикл	90
Шумный цех	100
Болевой порог	130

5) **длина волны**  $\lambda$ , м:

слух воспринимает волны в диапазоне

$\lambda = 0,017 \dots 1,7$  м.

6) **частота звука**  $f$ , Гц – ощущается человеком как высота (тональность) звука

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

где  $c$  – скорость звука в воздухе,  $\approx 343$  м/с при  $t = +20$  °С.

Частотный **диапазон слышимости** человека:

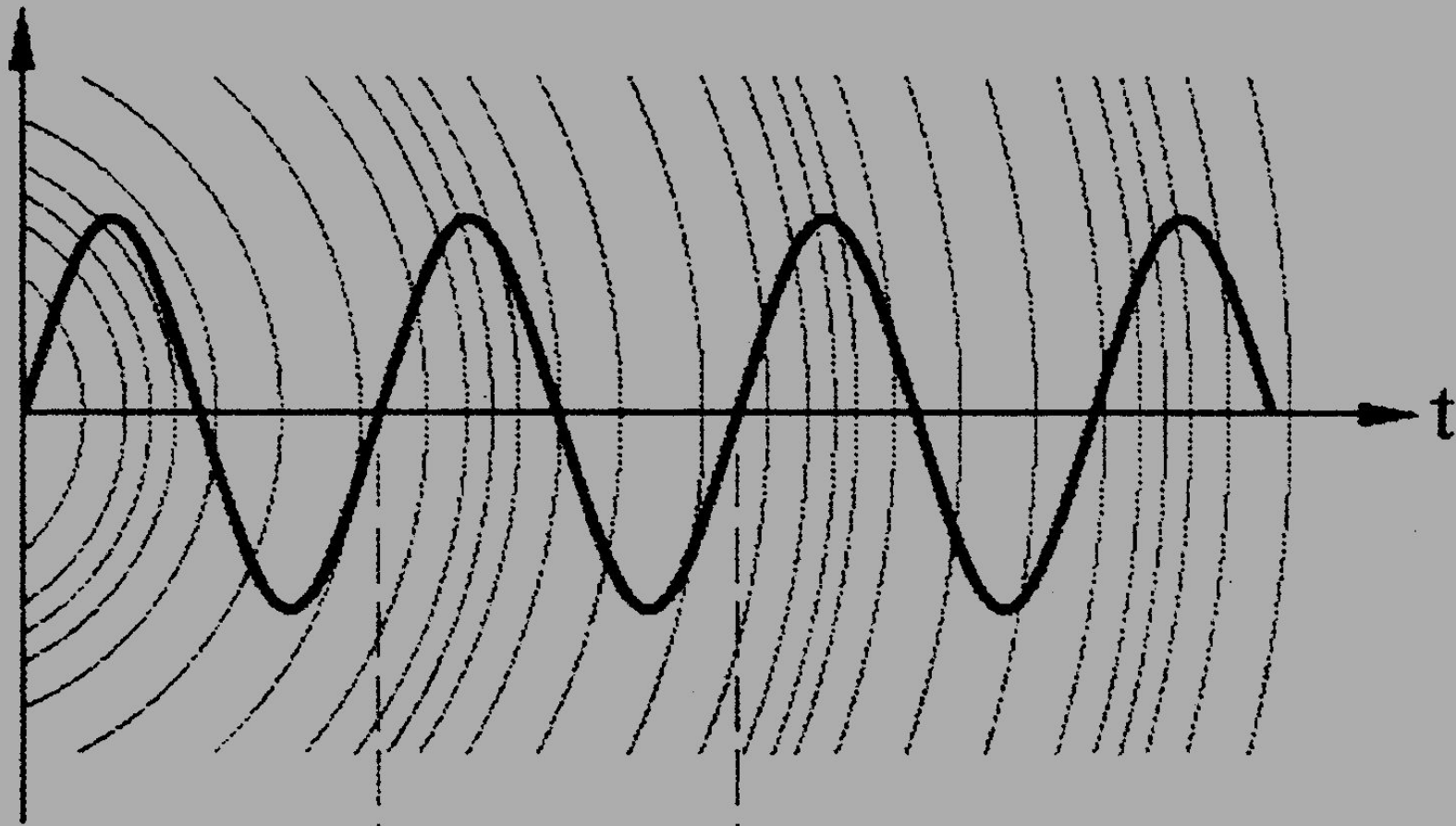
взрослый человек с нормальным слухом – 16 ... ~ 16 000

Гц;

молодые люди – 16 ... до 20 000 Гц;

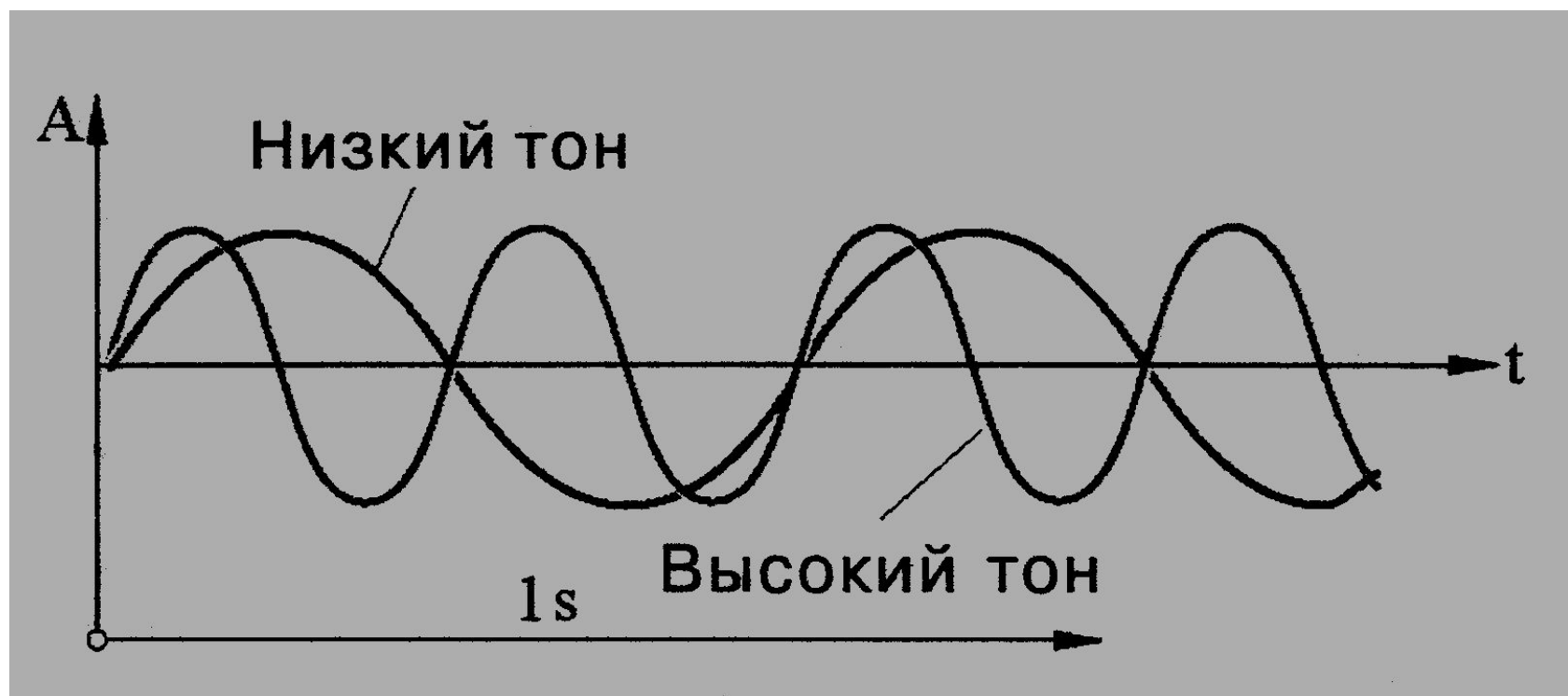
маленькие дети – 16 ... до 24 000 Гц.

A



t

$\lambda$



**Диапазон воспринимаемых слухом частот –**

16...20 000 Гц:

- низкие частоты (ДВ);
- средние (СВ);
- высокие (КВ, УКВ).

< 16 Гц – инфразвук;

> 20 000 Гц – у/звук.

В диапазоне частот бытовых и производственных шумов звук делится на **октавные полосы**, граничные значения которых находятся в соотношении **2:1**.

Октавы делятся на **1/3 октавные полосы**:

		100	<b>125</b>
<b>125</b>	160	200	<b>250</b>
<b>250</b>	315	400	<b>500</b>
<b>500</b>	630	800	<b>1000</b>
<b>1000</b>	1250	1600	<b>2000</b>
2000	2500	3150	

(итого: **15** третьоктавных шагов = **5** октав)

**Строительная акустика** – наука, изучающая вопросы **звукоизоляции** ограждающими конструкциями и **снижения шума** в зданиях.

**Шум** – воспринимаемые слухом нерегулярные колебания без закономерной зависимости, которые являются помехой.

Способность ограждающей конструкции ↓  
проходящий ч/з нее звук называется изоляцией  
воздушного шума (звукоизоляцией)  $R$ .

Она представляет собой обеспечиваемое  
ограждением ↓ уровней звукового давления в дБ  
(по частотам третьоктавных шагов).

Использовать для расчетов изоляцию  
воздушного шума  $R$  неудобно, поэтому  
применяют др. величину:



**Индекс изоляции воздуш. шума  $R_w$**  – величина в дБ, служащая для **оценки звукоизолирующей способности** ограждения одним числом.

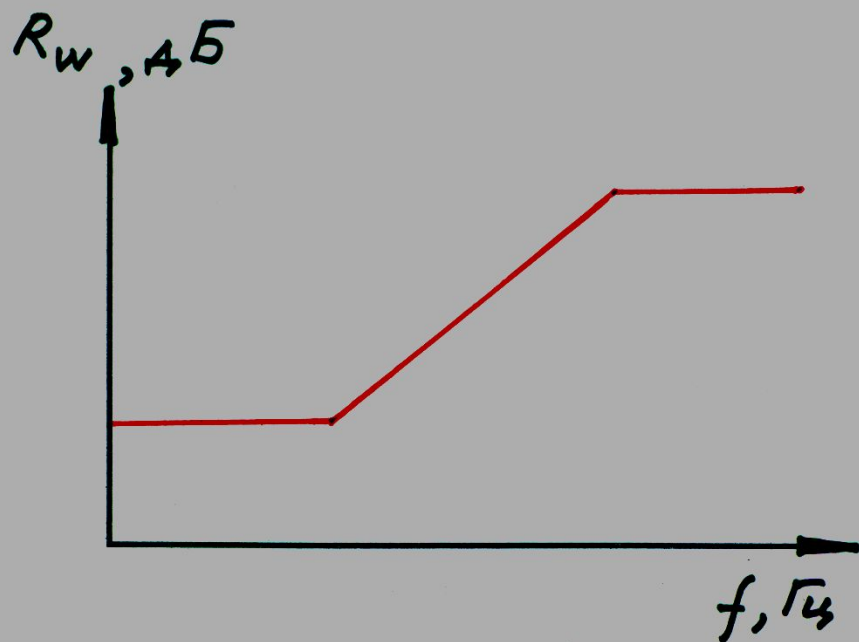
С другой стороны, для **внутренних** ограждающих конструкций устанавливаются **нормируемые показатели звукоизоляции**:

- **нормируемый индекс изоляции воздушного шума  $R_w^n$** , дБ (вертикальный и горизонтальный);
- и др.

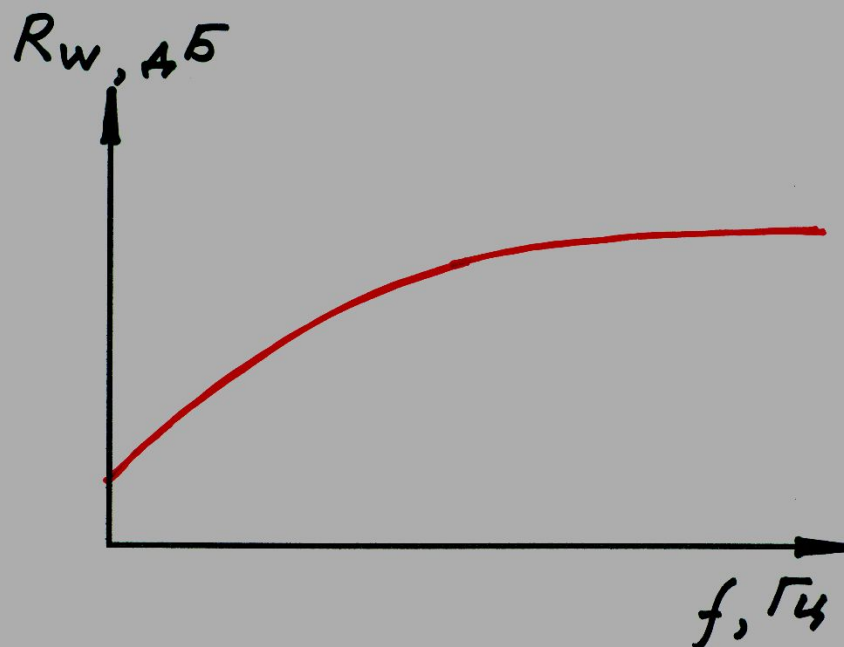
## Определение $R_w$

$R_w$  определяется путем сопоставления частотной характеристики изоляции воздушного шума конструкцией со специальной оценочной кривой (эталонном).

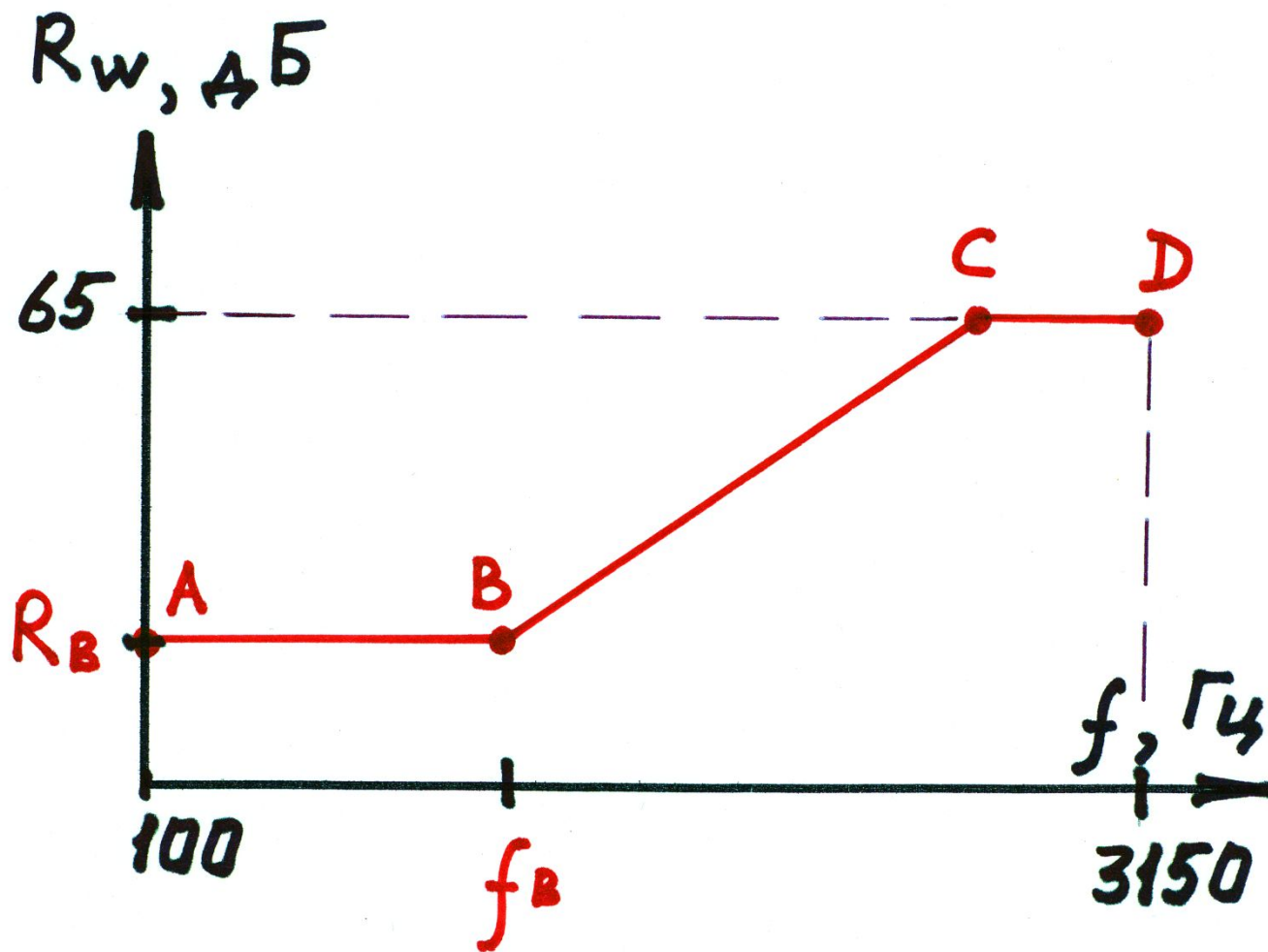
частотная хар-ка



оценочная кривая



Частотная характеристика строится по точкам А, В, С, D:

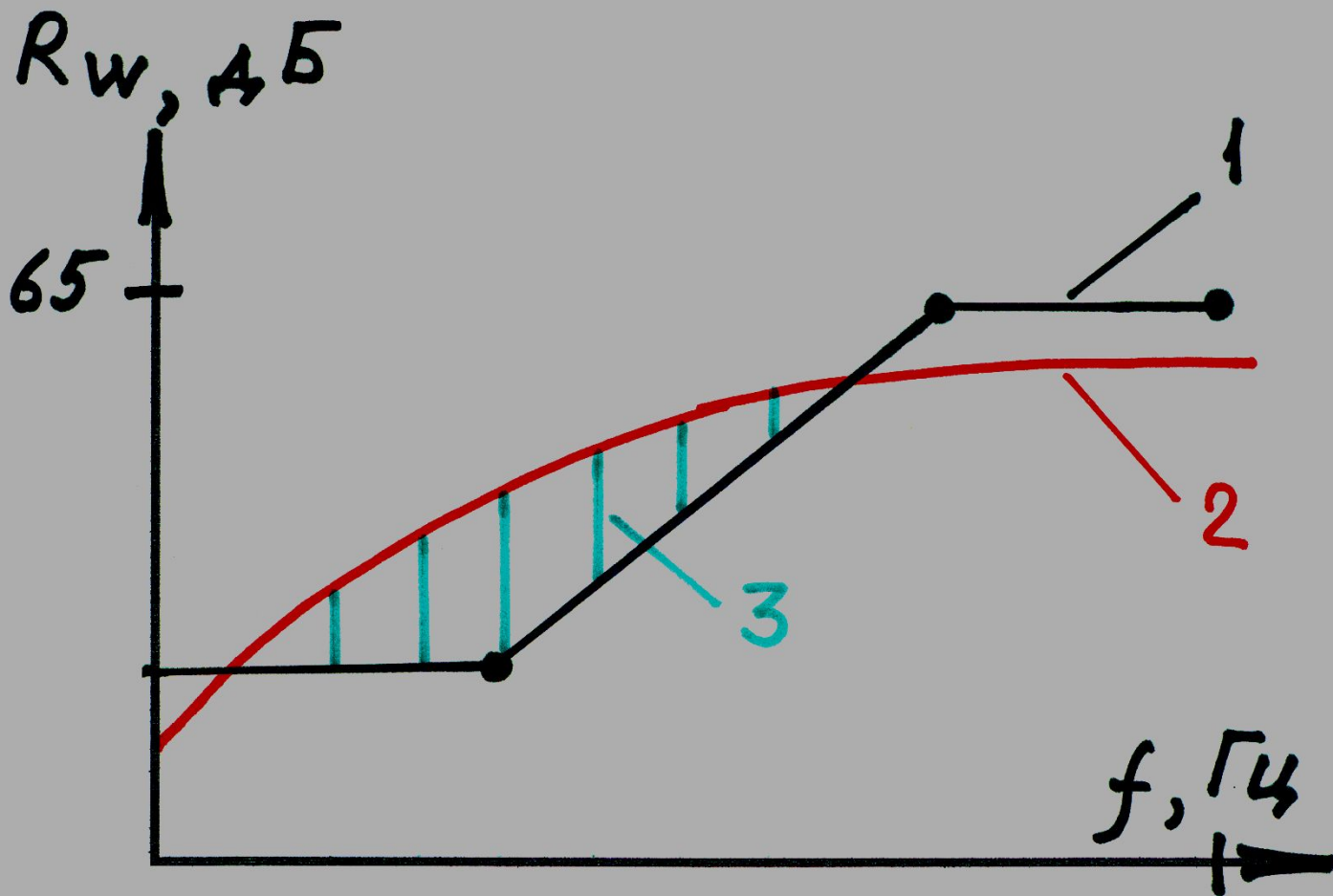


**Оценочная кривая** представляется в табличной форме:

Среднегеометр. частота 1/3-октав. полосы	100	125	160	...	2500	3150
Изоляция воздуш. шума, дБ	33	36	39	...	56	56

Определение  $R_w$  выполняется в несколько этапов:

1. построение **расчетной частотной характеристики** (предварительное определение  $R_w$  );
2. оценка **отклонений** ее от оценочной кривой;
3. определение величин **поправок** для вычисления фактического  $R_w$  .



1 – расчет. частот. хар-ка (фактич.);

2 – оценоч. кривая (эталон);

3 – неблагоприят. отклонения НО.

3150

# Последовательность расчета



## 1) вычисляем **поверхностную плотность**

ограждения:

- для однослойных конструкций

$$m = \gamma \cdot h$$

, кг/м<sup>2</sup>

- для многослойных

$$m = \sum \gamma_j h_j$$

, кг/м<sup>2</sup>

2) проверяем **выполнение условия:**

$$m < 100 \text{ кг/м}^2$$

$$m = 100 \dots 800 \text{ кг/м}^2$$

$$m > 800 \text{ кг/м}^2$$

$m < 100 \text{ кг/м}^2$  – конструкция **из листовых**

**материалов** с иной методикой расчета;

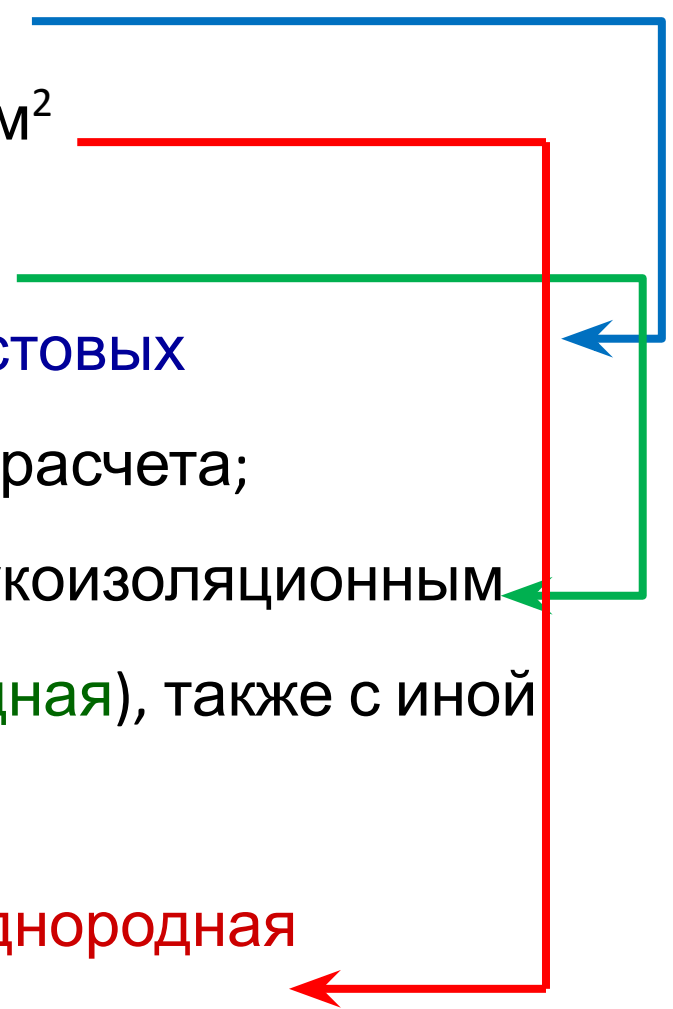
$m > 800 \text{ кг/м}^2$  – конструкция со звукоизоляционным

слоем (**акустически неоднородная**), также с иной

методикой расчета;

$m = 100 \dots 800 \text{ кг/м}^2$  – **массивная однородная**

конструкция (наш случай).



**3) вычисляем эквивалентную поверхностную**

**плотность  $m_{\text{э}}$ , кг/м<sup>2</sup>**

$$m_{\text{э}} = k \cdot m$$

$k$  – коэффициент, учитывающий относительное увеличение изгибной жесткости ограждения.

4) вычислить расчетную объемную массу конструкции:

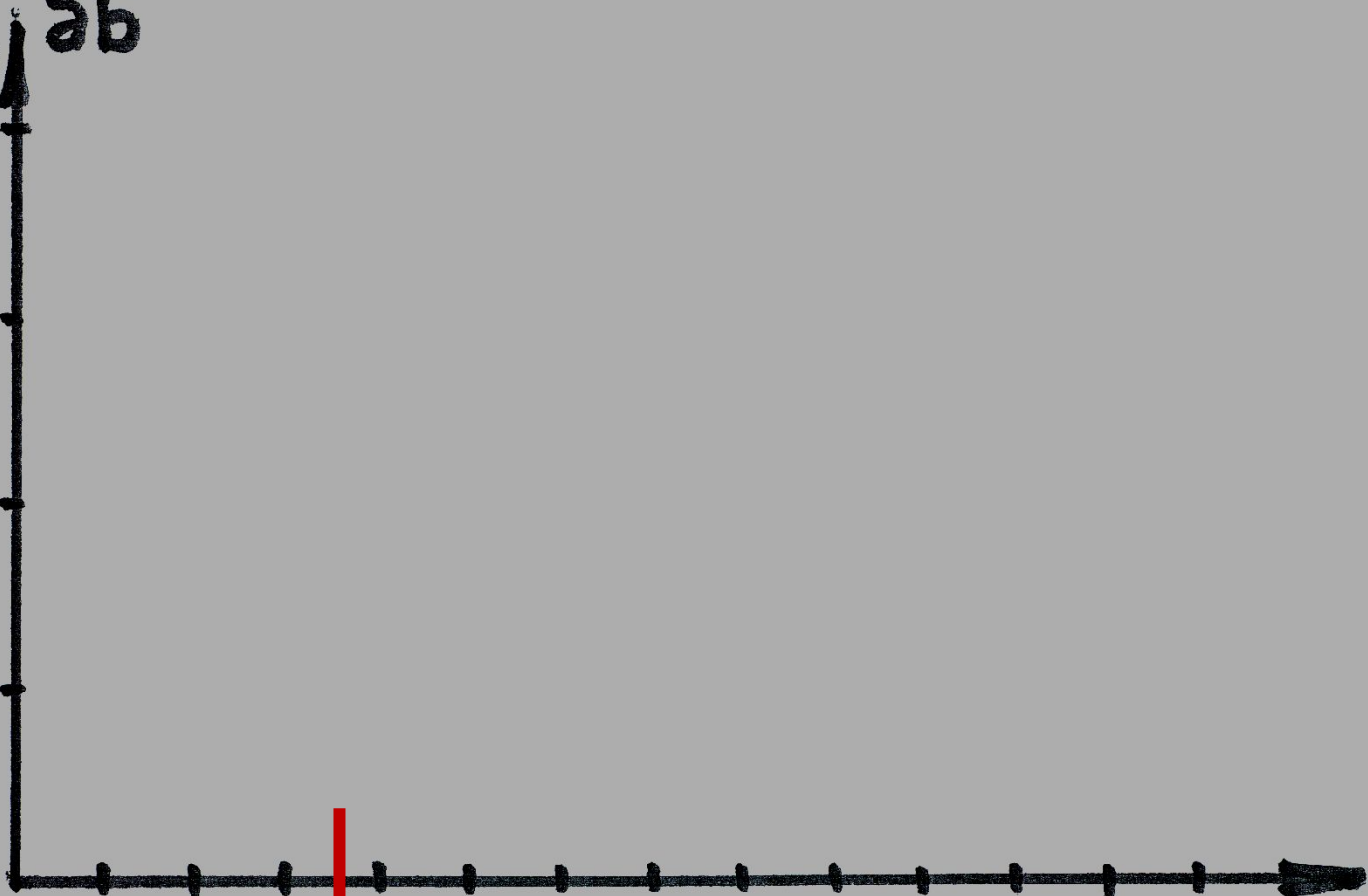
$$\gamma_0 = \frac{\sum \gamma_j h_j}{\sum h_j}$$

5) по таблице в зависимости от плотности материала  $\gamma$  и толщины ограждения  $h$  определяется **граничная дорезонансная частота** колебаний (абсцисса точки В)  $f_{\text{в}}$ , Гц;

Полученное значение округляется до **среднегеометрической частоты** третьоктавной (терцийной) полосы  $f_{\text{в}}$ , Гц.

$f_{\text{в}}$  – это абсцисса т.  
В.

$R, \text{аБ}$



$f_B$

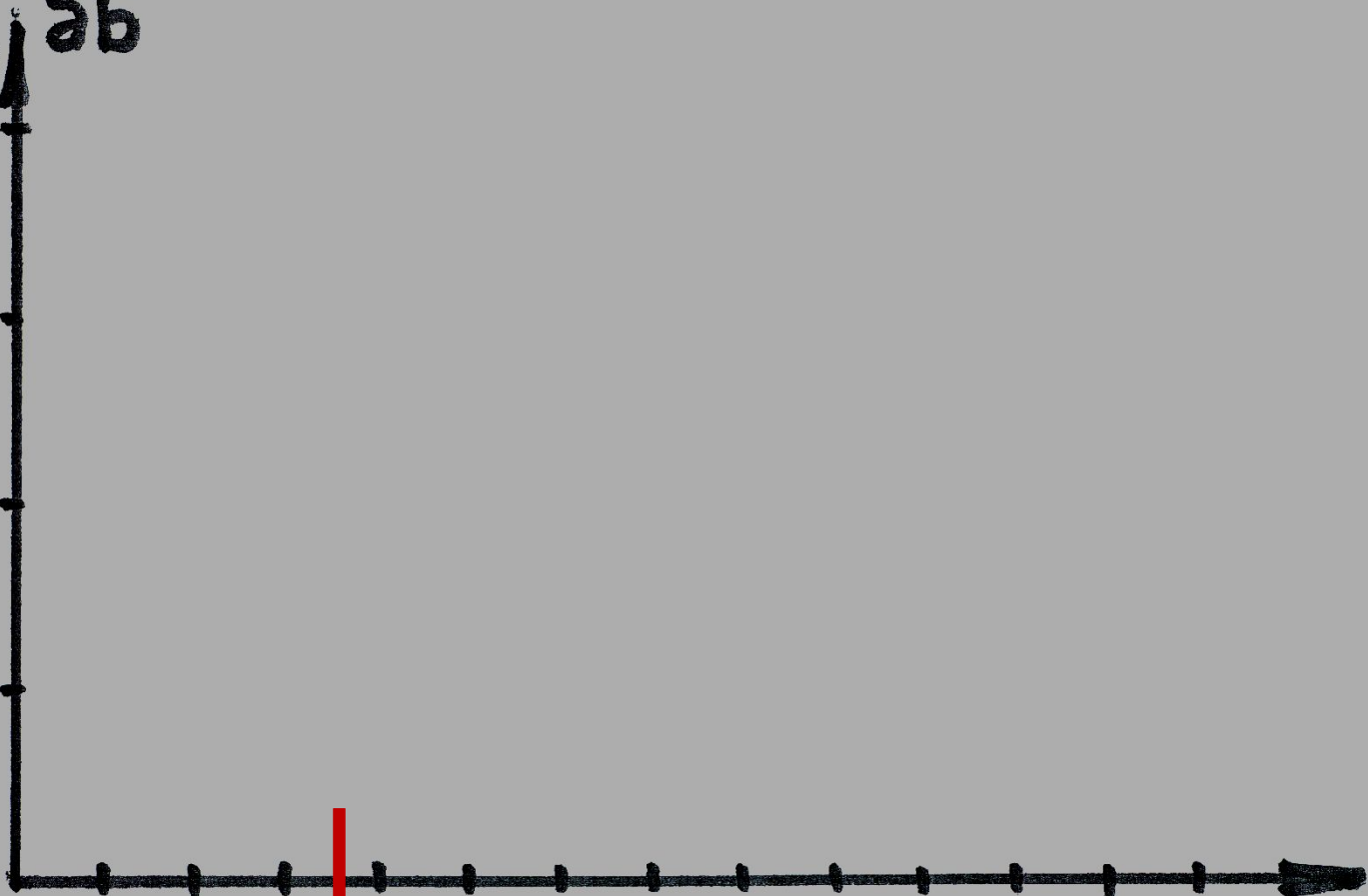
$f, \text{Г4}$

$f_B$  – это абсцисса т.

В.  
Границы третьоктавных полос (округление величины  $f_B$ )

Среднегеометрическая частота 1/3-октавной полосы	Границы 1/3-октавной полосы
50	45-56
63	57-70
800	71-88
100	89-111
125	112-140
160	141-176
200	177-222
250	223-280
315	281-353
400	354-445
500	446-561

$R, \text{аб}$



$f_B$

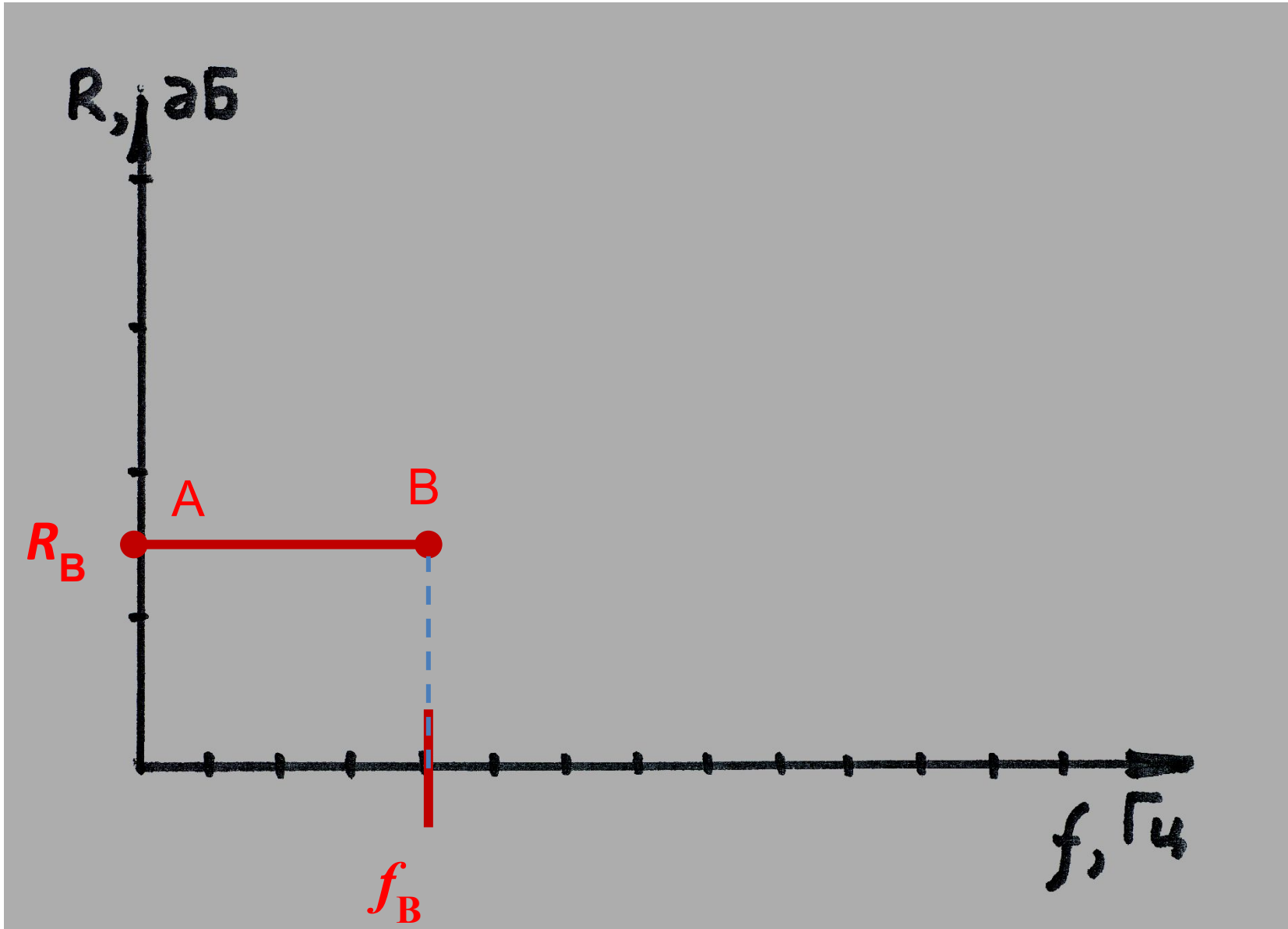
$f, \text{Г4}$



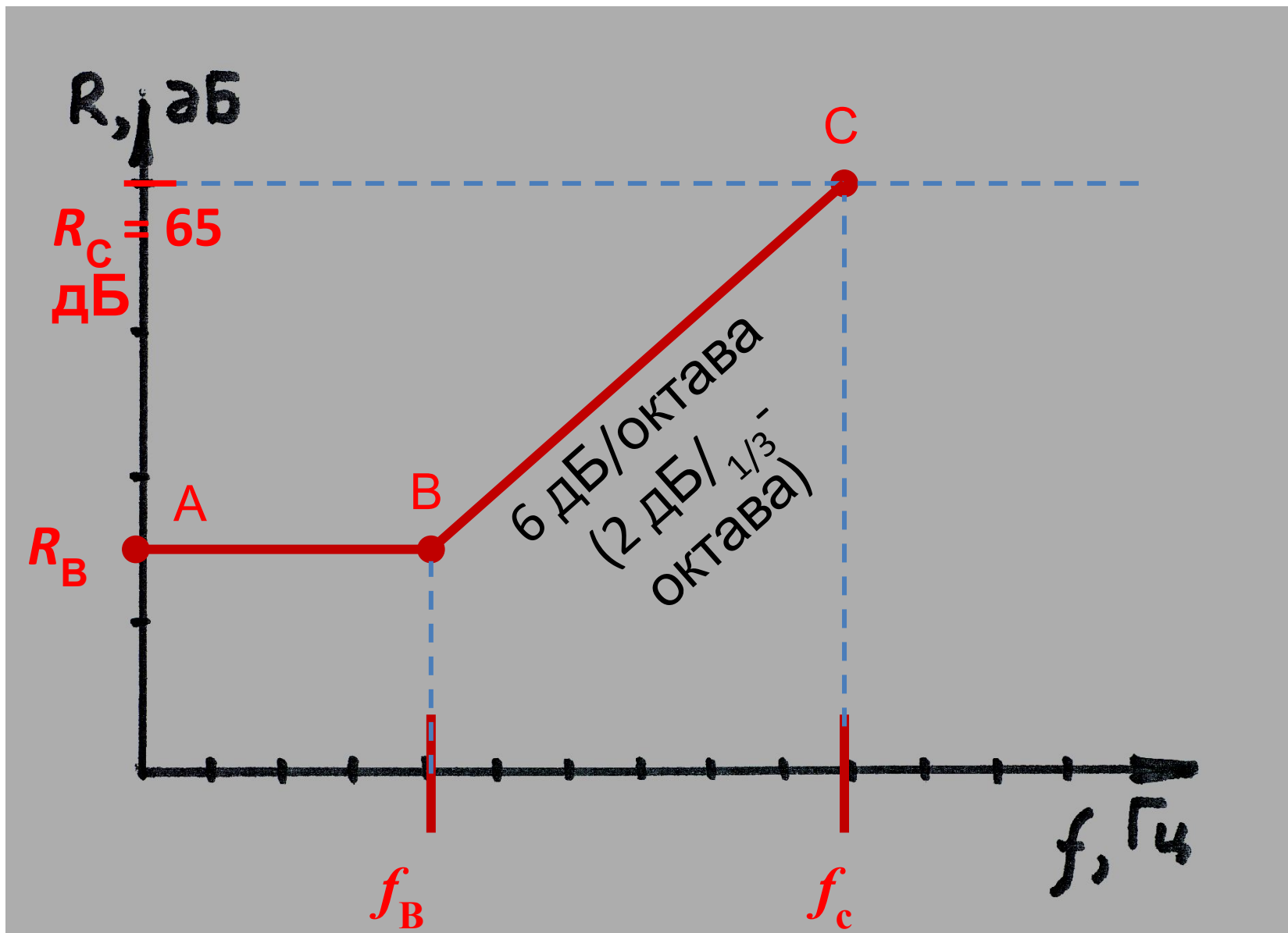
6) вычисляем **дорезонансную величину изоляции** конструкцией воздушного шума  $R_B$ , дБ

$$R_B = 20 \cdot \lg m_{\text{Э}} - 12$$

$R_B$  является ординатой т. А и  
В.

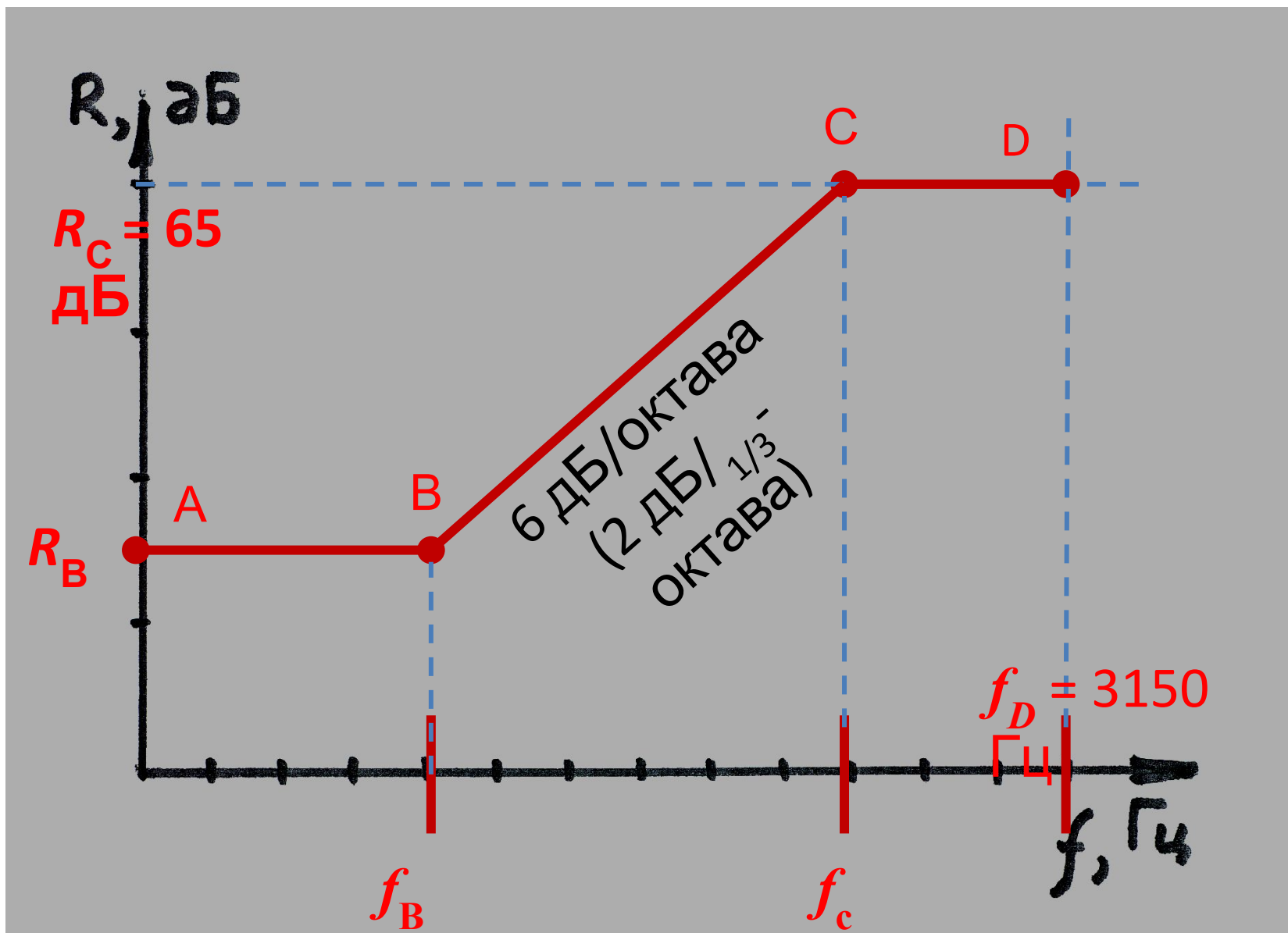


7) определяем значения  $f_j$  и  $R_{В,j}$  на **участке ВС** расчетной частотной характеристики, имеющей уклон 6 дБ/октава (2 дБ/третьоктава) до достижения  $R_{В}$  величины **65 дБ**.



**8)** строим **участок CD**

(до  $f_D = 3150$  Гц).



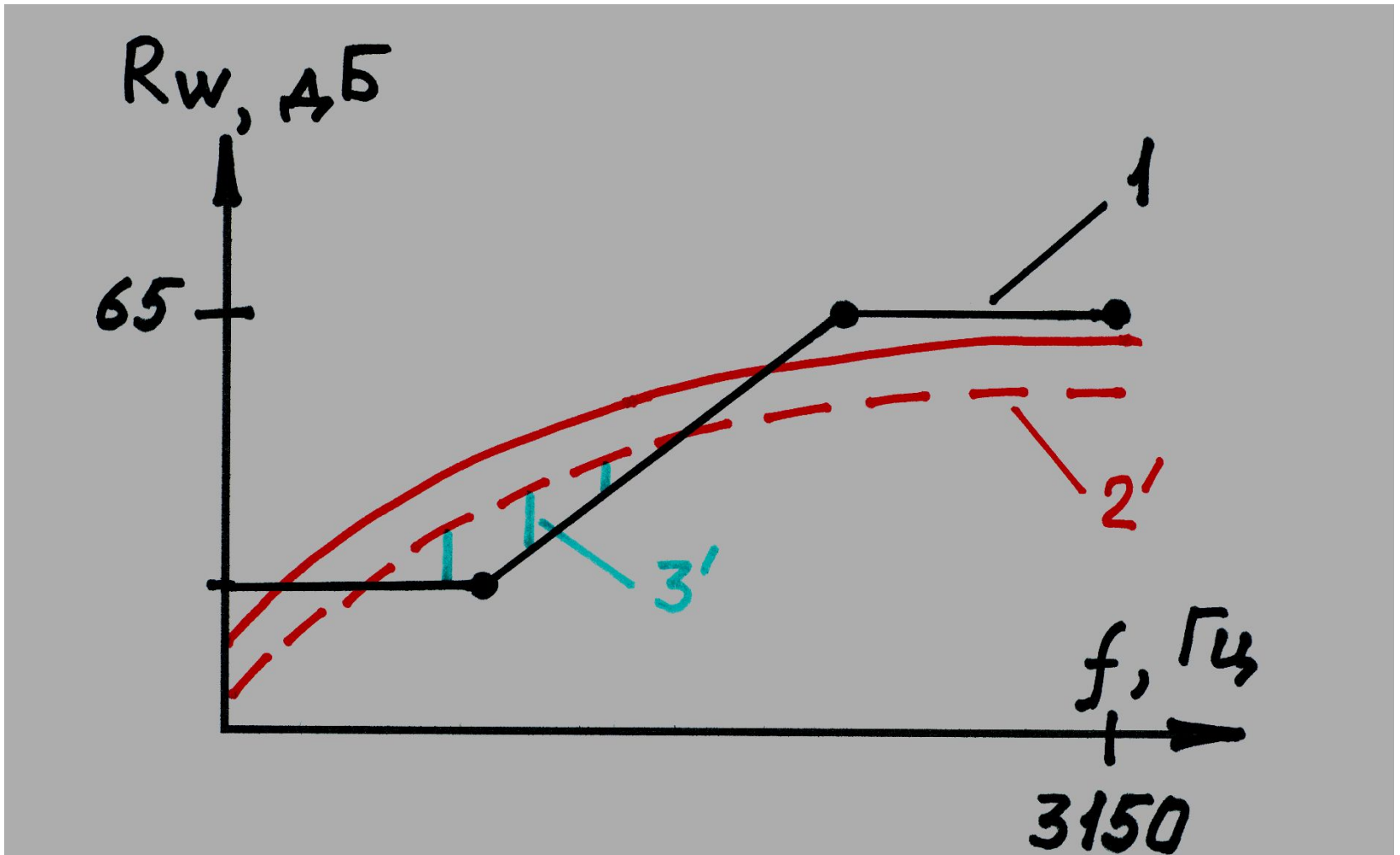
**График ABCD**  
**построен.**

Работу удобно выполнять *в табл. форме:*

Среднегеом. частота $f_j$ , Гц	100	125	160	...	...	...	2500	3150
Изоляция воздуш. шума $R_j$ , дБ	...	...	...					



9) строим **оценочную кривую**.



В прикладных расчетах построение графиков и дальнейшие вычисления выполняются в **табличной** форме.

Строим таблицу:



Параметр	Ед. изм.	Значения					
		100	125	...	...	2500	3150
$f_j$	Гц	100	125	...	...	2500	3150
$R_j$	дБ						
$R_{оц, j}$	дБ						
$НО_j$	дБ						
$R'_{оц, j}$	дБ						
$НО'_j$	дБ						
$R_w$	дБ						

10) вычисляем **неблагоприятные отклонения**  $HO_j$ .

Неблагоприятным считаются отклонения **в меньшую сторону** (вниз) от **оценочной кривой**.

Определяем их **сумму**:

$$HO_{\Sigma} = \Sigma HO_j.$$

**11)** проводим **анализ  $\text{НО}_\Sigma$**  и вводим **поправку  $\Delta$**   
(величину смещения оценочной кривой  
относительно расчетной характеристики на целое  
количество дБ):

$HO_{\Sigma}$

$\leq 32$  дБ

$> 32$  дБ

$\ll 32$  дБ

$\Delta = 0$

$\Delta = +n$  дБ

$\Delta = -n$  дБ

опр. новые знач.  $R'_{оц,j}$

опр. новые знач.  $HO'_j$

снова выполняем анализ

.....

повтор. до тех пор, пока не получим  
выполн. условия  $HO'_{\Sigma} \leq 32$  дБ

**12)** определяем **индекс изоляции** конструкцией  
воздушного шума:

За  $R_w$  принимается **ордината оценочной**  
**кривой** с частотой  $f = 500$  Гц с учетом  
поправки  $\Delta$ :

$$R_w = R_{\text{оц},500} + \Delta .$$

**13)** Проверяем **выполнение**  
**условия**

$$R_w \geq R_w^n$$