

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/м²) – 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/м² – 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)

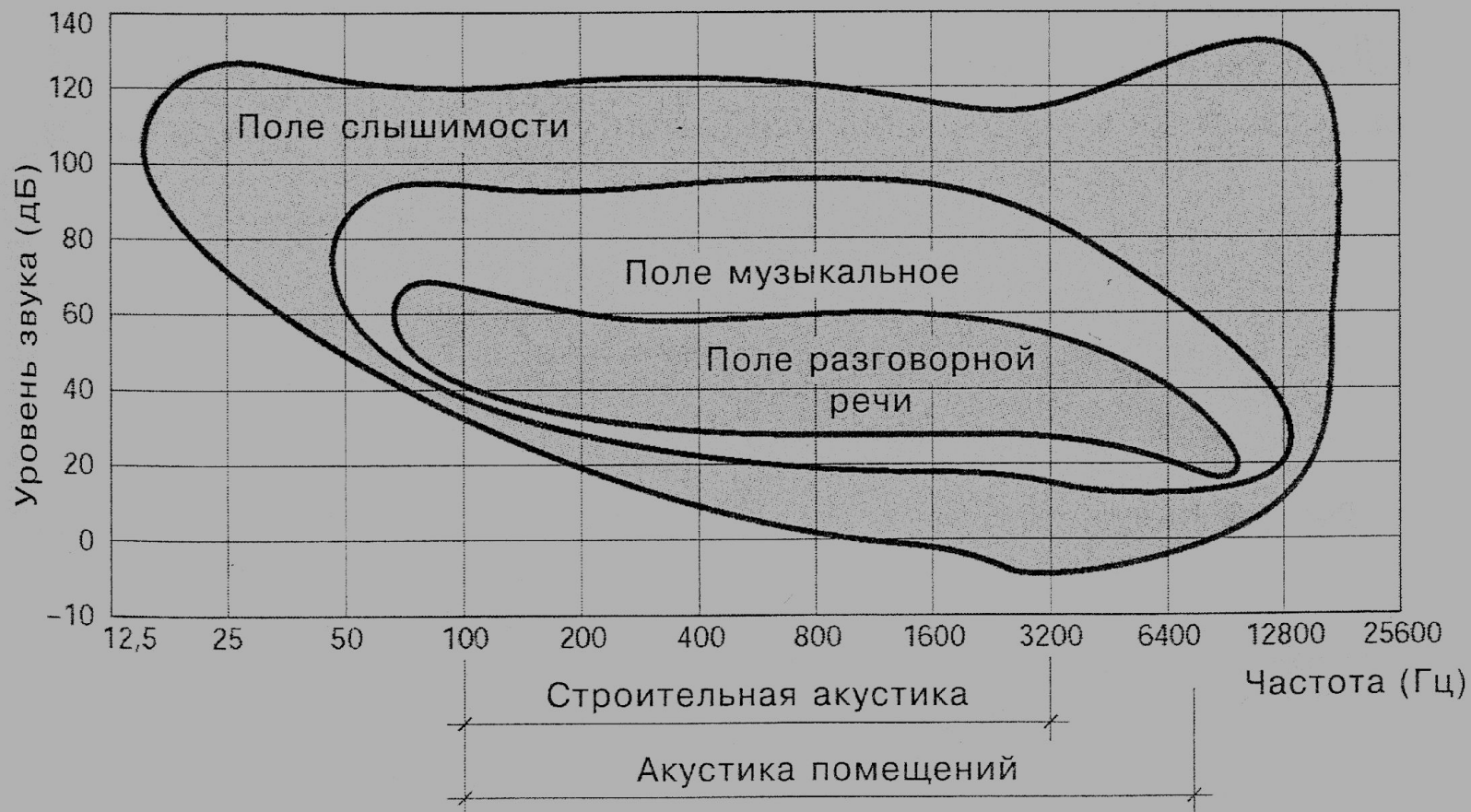
$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}; L_0 = 0 \text{ дБ.}$$

(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 λ , 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, ≈ 343 м/с при $t = +20$
 $^{\circ}\text{C}$.

Частотный диапазон слышимости человека:

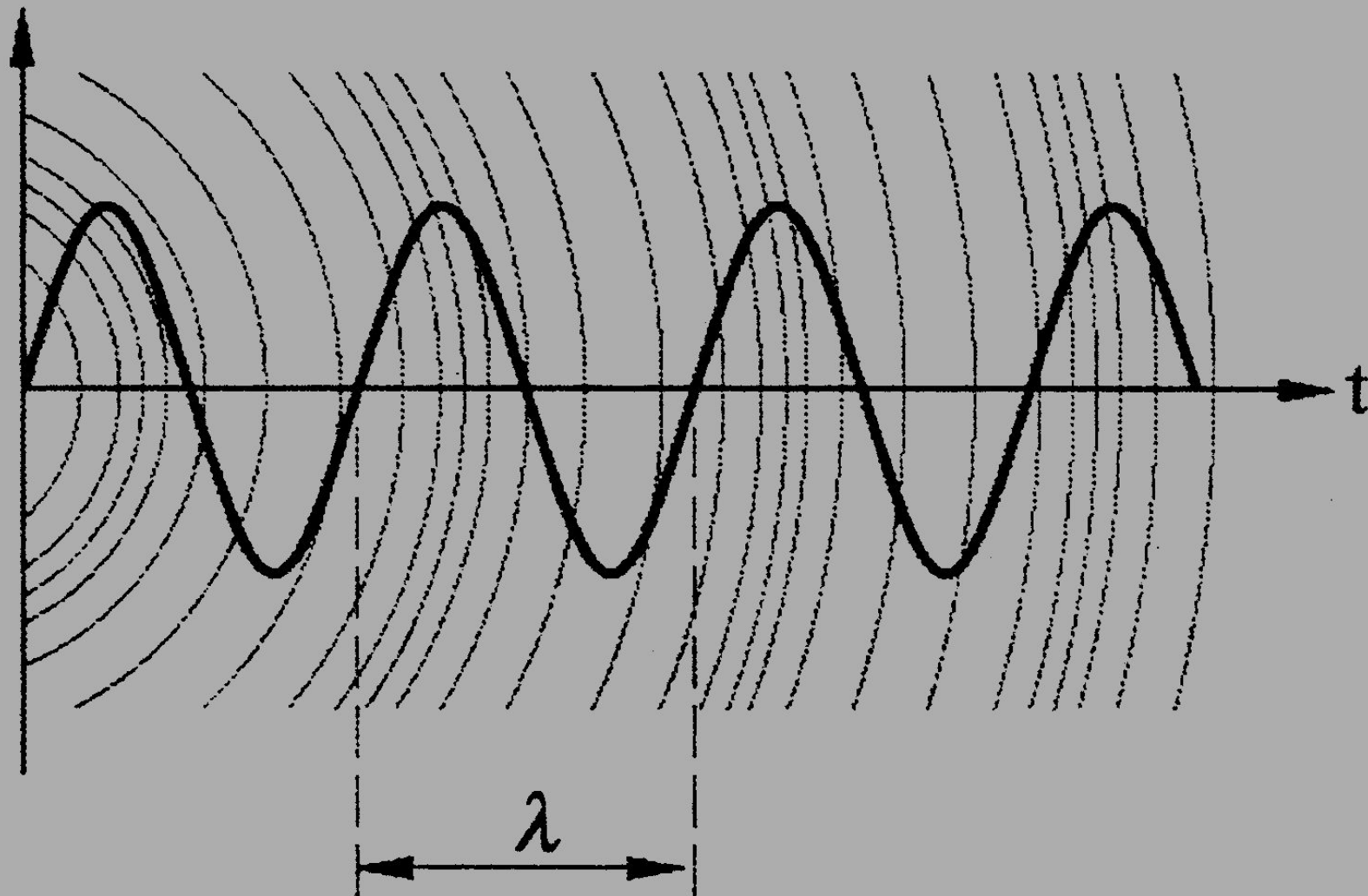
взрослый человек с нормальным слухом – $16 \dots \sim 16\,000$

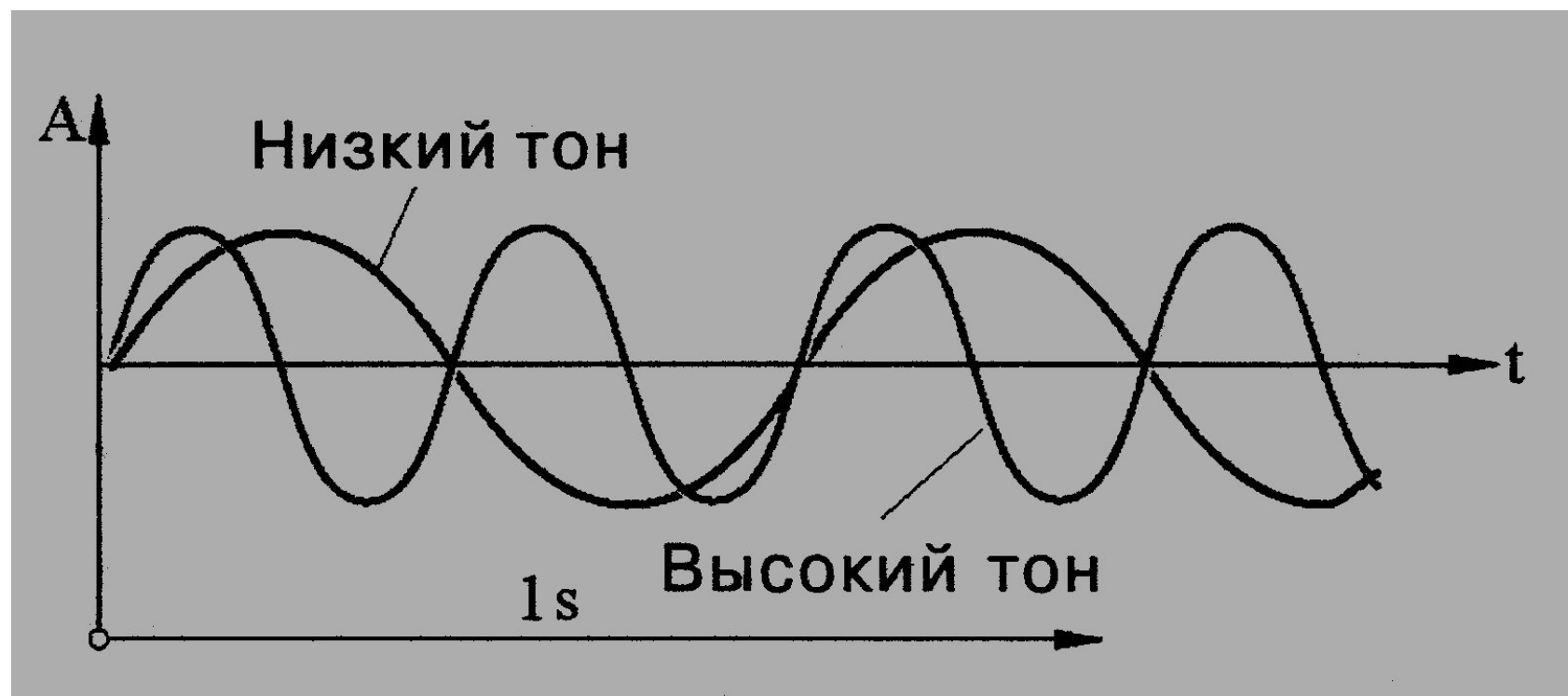
Гц;

молодые люди – $16 \dots$ до $20\,000$ Гц;

маленькие дети – $16 \dots$ до $24\,000$ Гц.

A





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	125
125	160	200	250
250	315	400	500
500	630	800	1000
1000	1250	1600	2000
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.

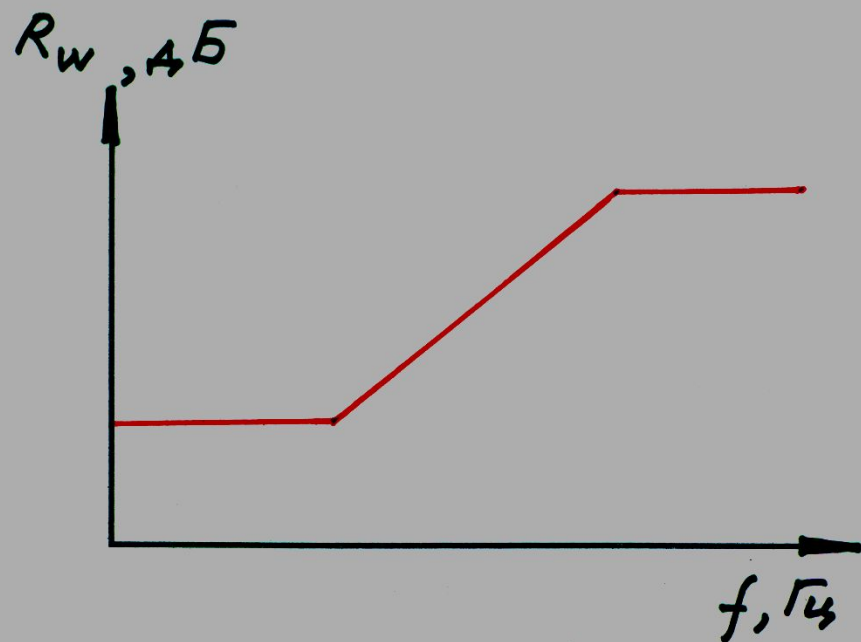
С другой стороны, для **внутренних** ограждающих конструкций устанавливаются **нормируемые показатели звукоизоляции**:

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

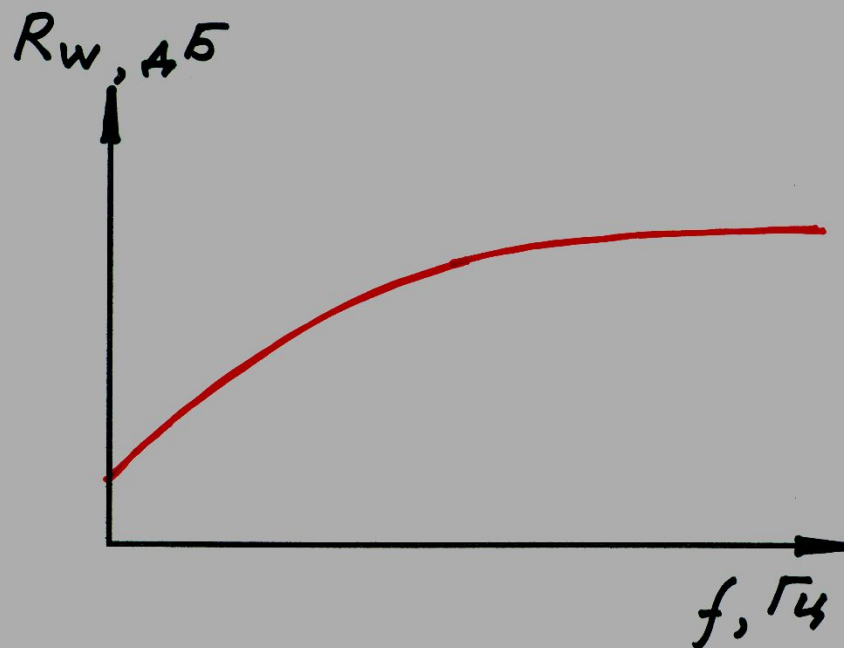
Определение R_w

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

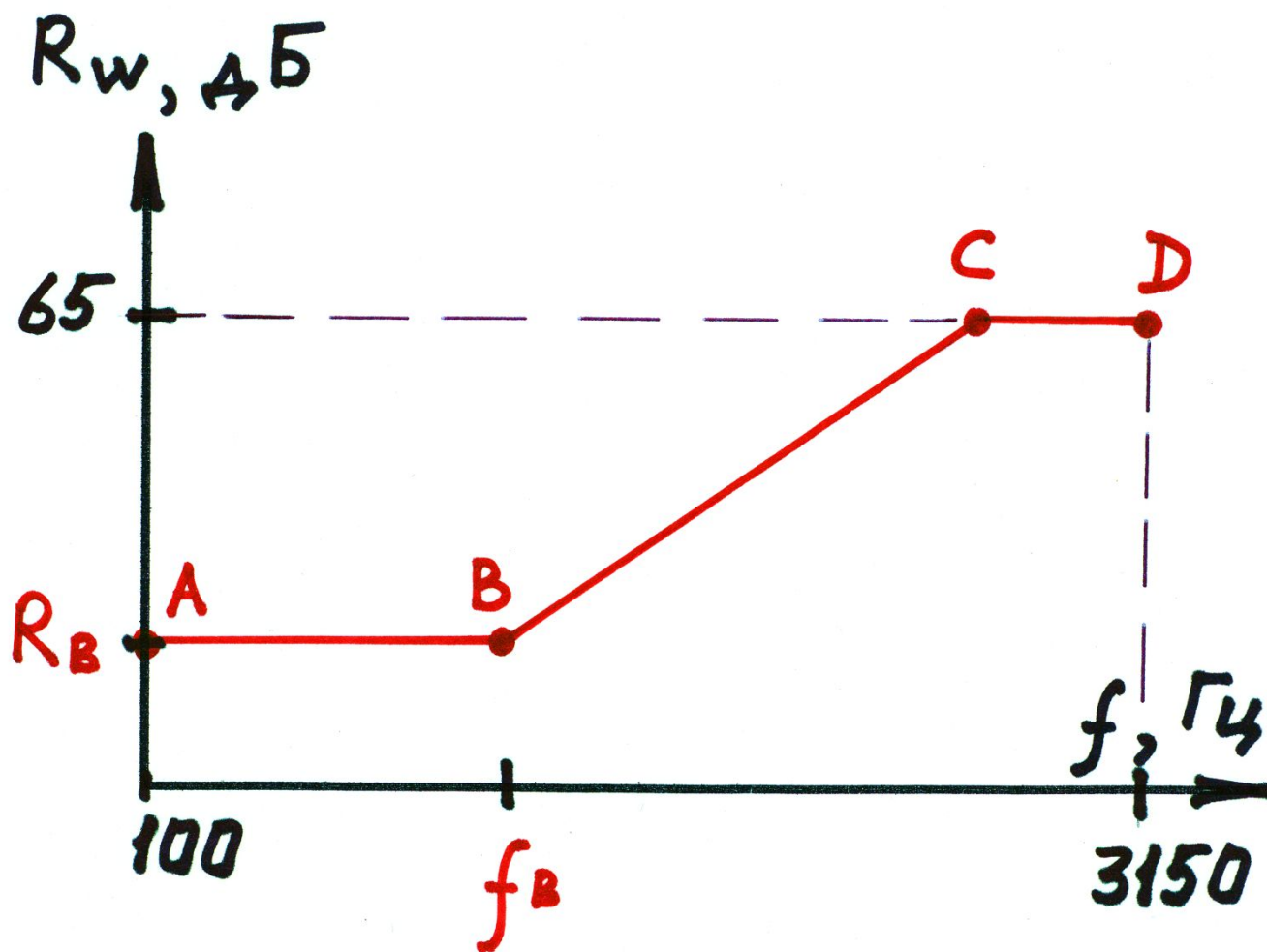
частотная хар-ка



оценочная кривая



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

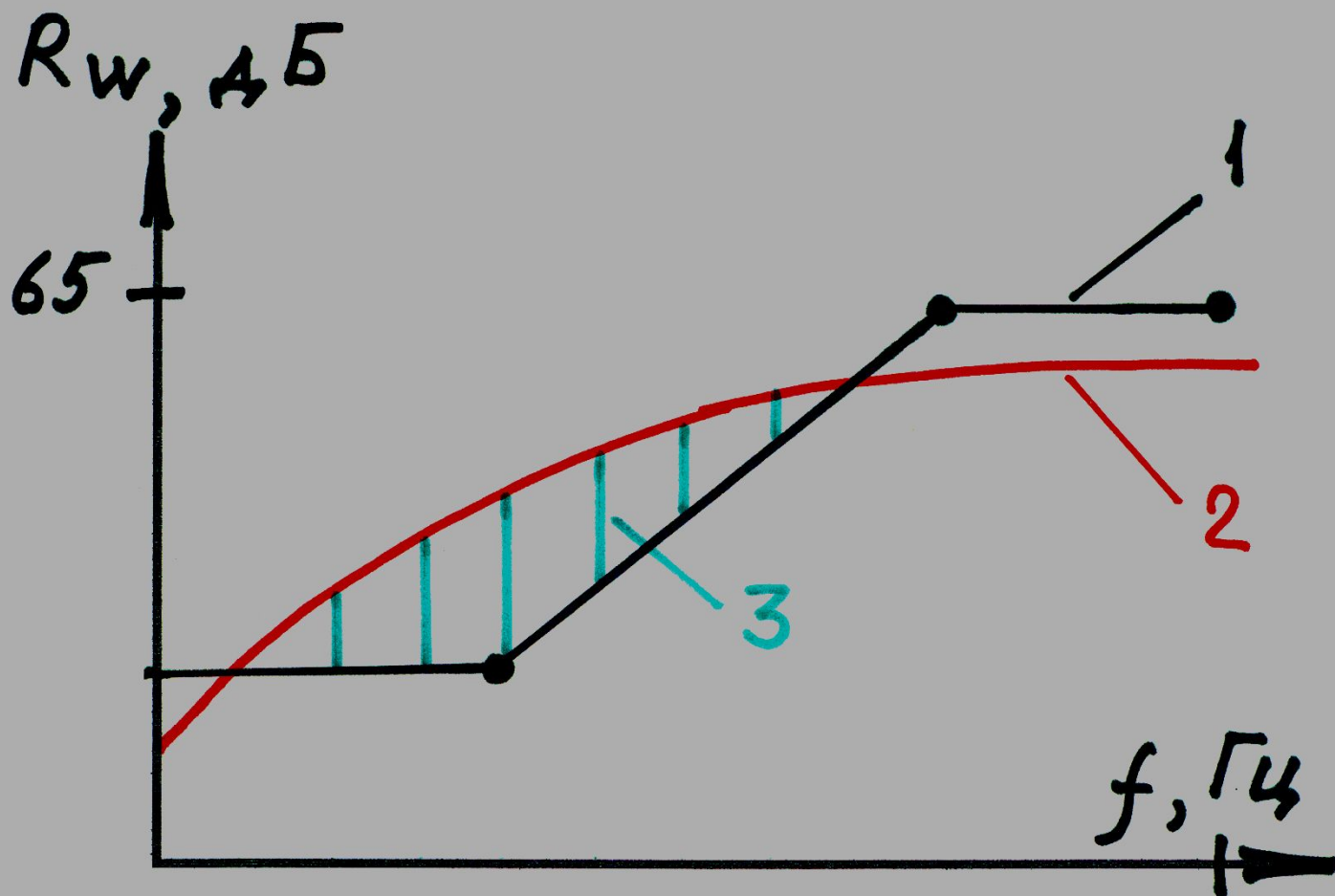


Оценочная кривая представляется в табличной форме:

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.

Последовательность
расчета

1) вычисляем **поверхностную плотность**

ограждения:

- для однослойных конструкций

$$m = \gamma \cdot h$$

, кг/м²

- для многослойных

$$m = \sum \gamma_j h_j$$

, кг/м²

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/м²

$$m_{\text{э}} = k \cdot m$$

k – коэффициент, учитывающий относительное увеличение изгибной жесткости ограждения.

4) вычислить расчетную объемную массу конструкции:

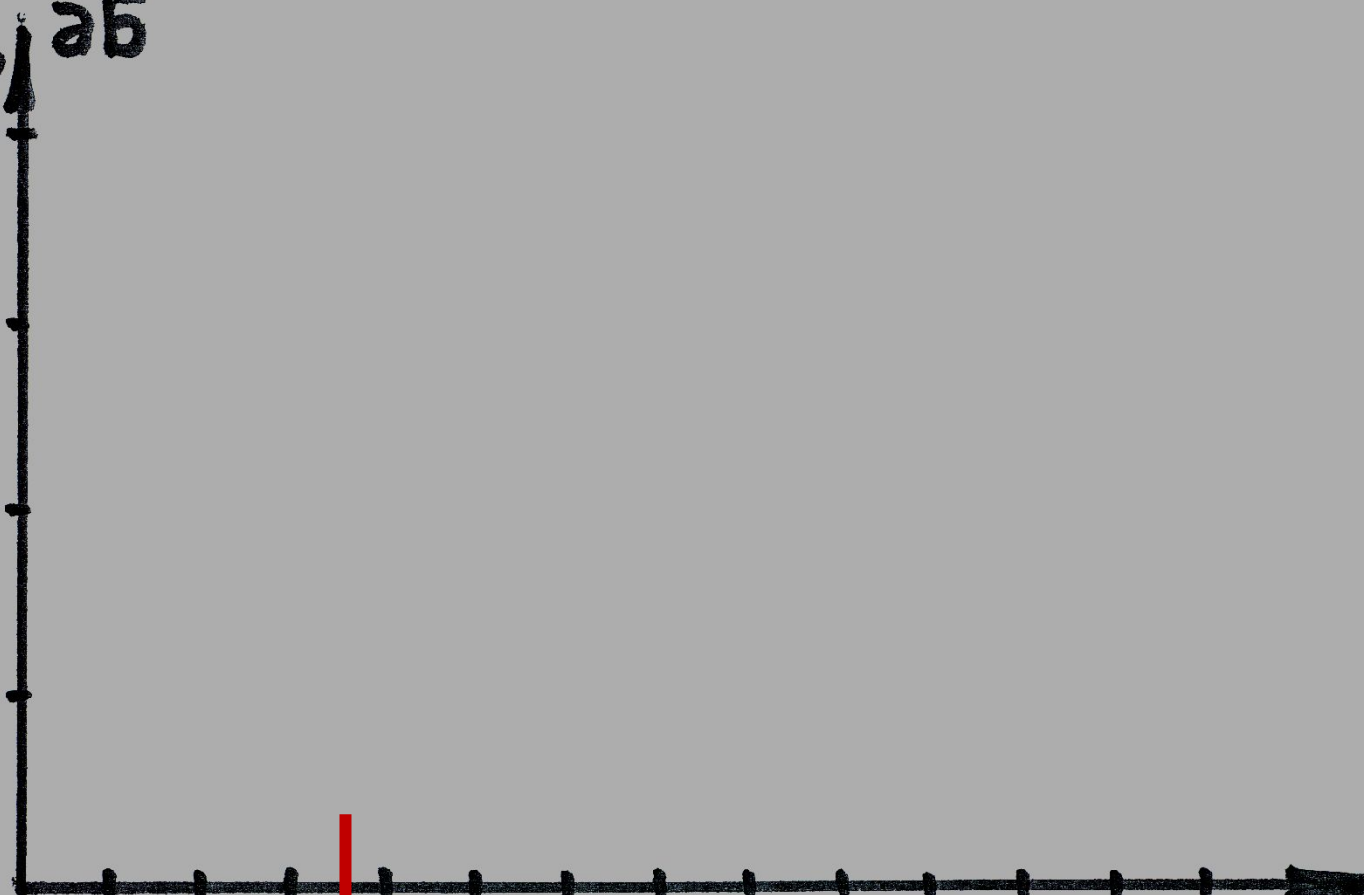
$$\gamma_o = \frac{\sum \gamma_j h_j}{\sum h_j}$$

5) по таблице в зависимости от плотности материала γ 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, aB



f_B

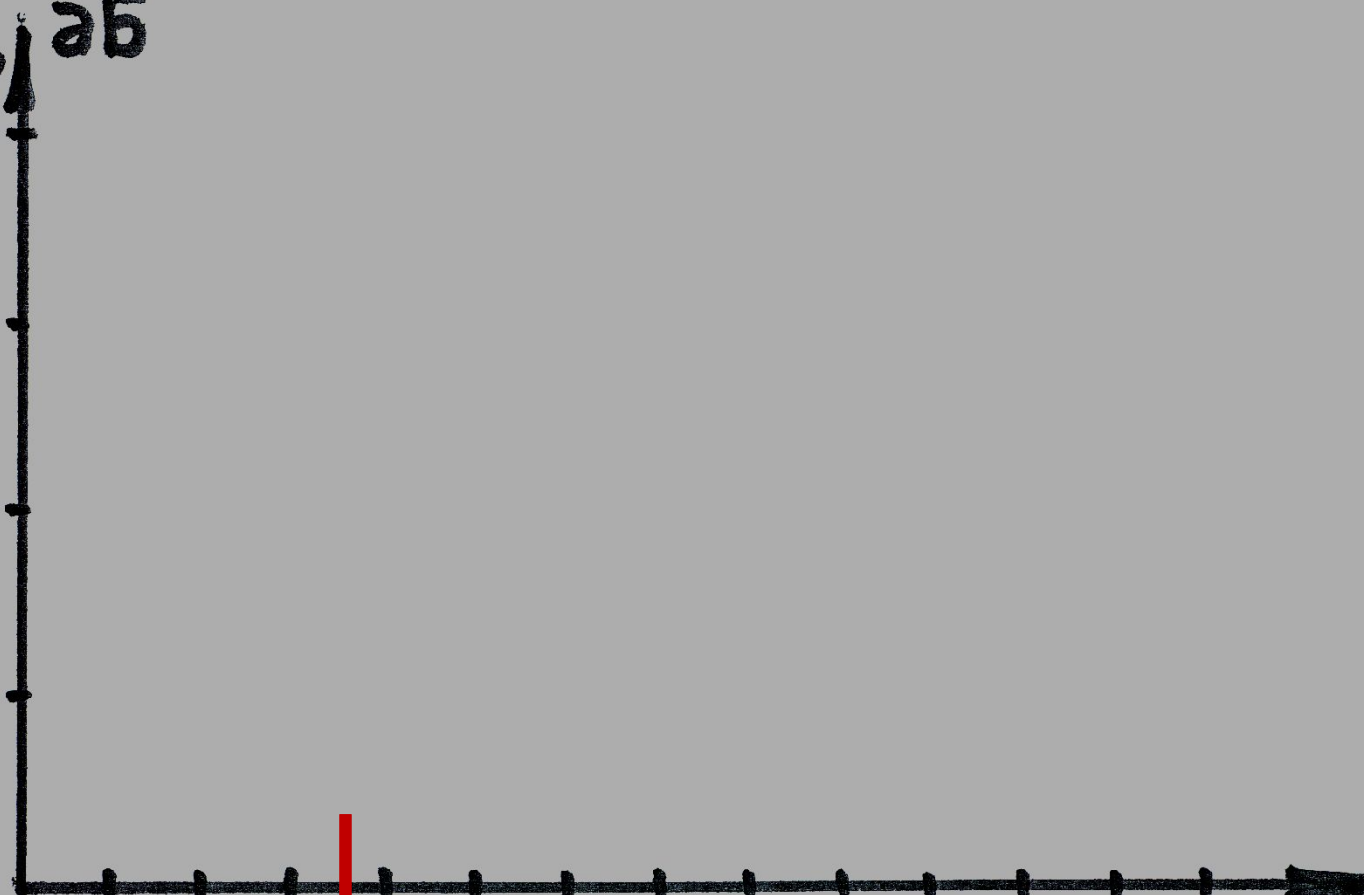
f, Γ_4

f_B – это абсцисса т.

$B.$
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	89-11
125	112-140
160	141-176
200	177-222
250	223-280
315	281-353
400	354-445
500	446-561

R, aB



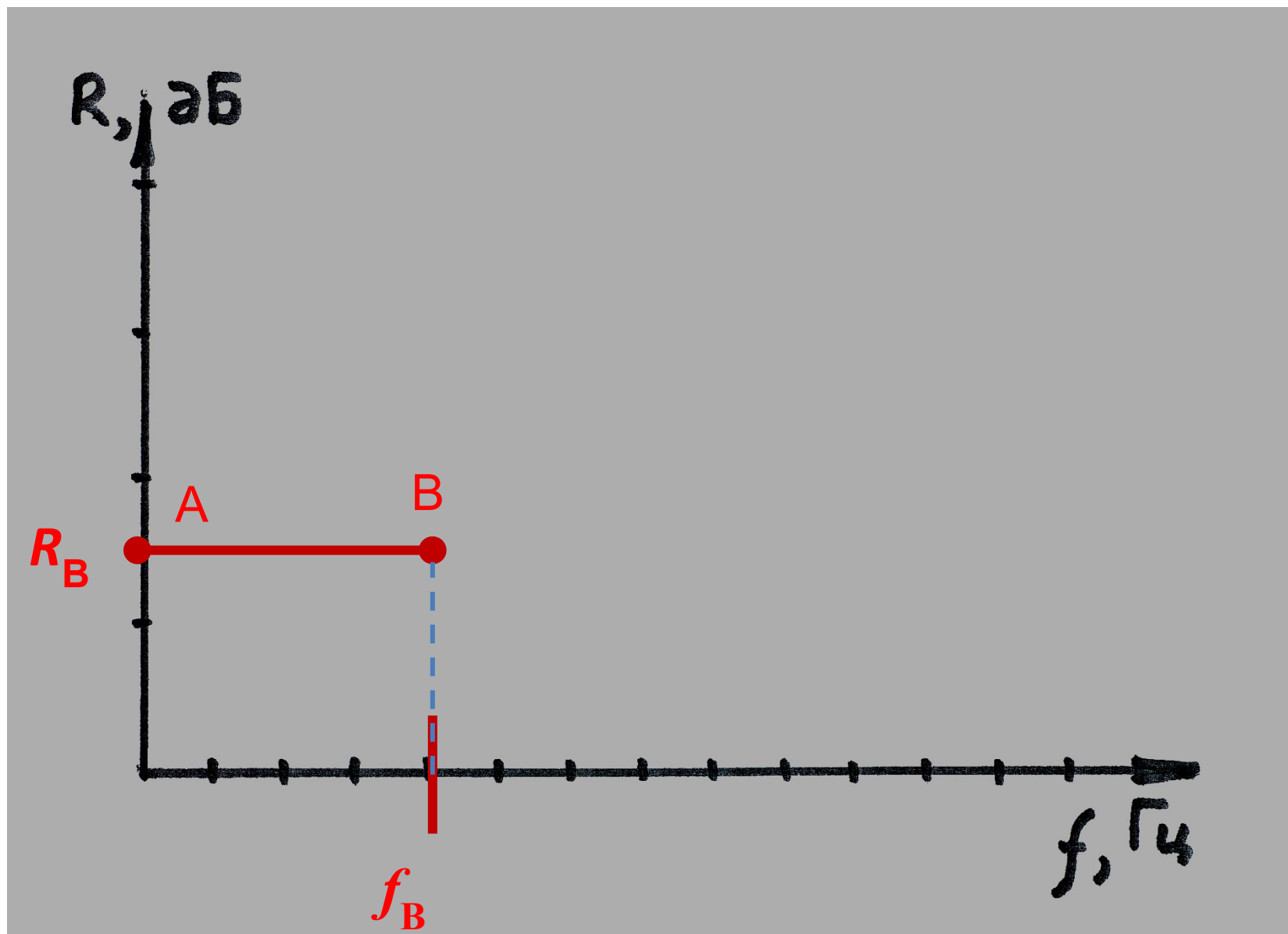
f_B

f, Γ_4

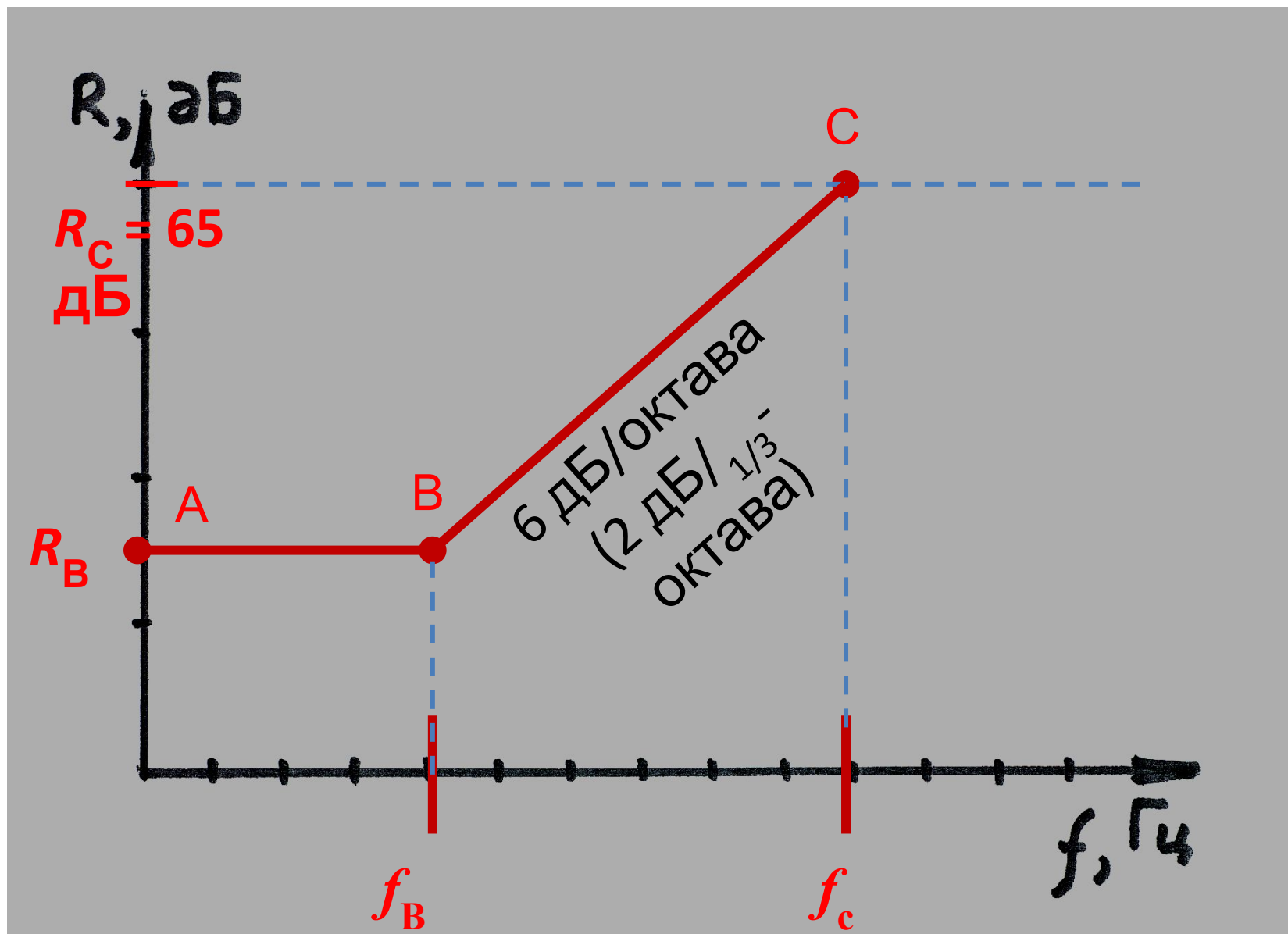
6) вычисляем **дорезонансную величину изоляции** конструкцией воздушного шума R_B , дБ

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

R_B является ординатой т. А и В.

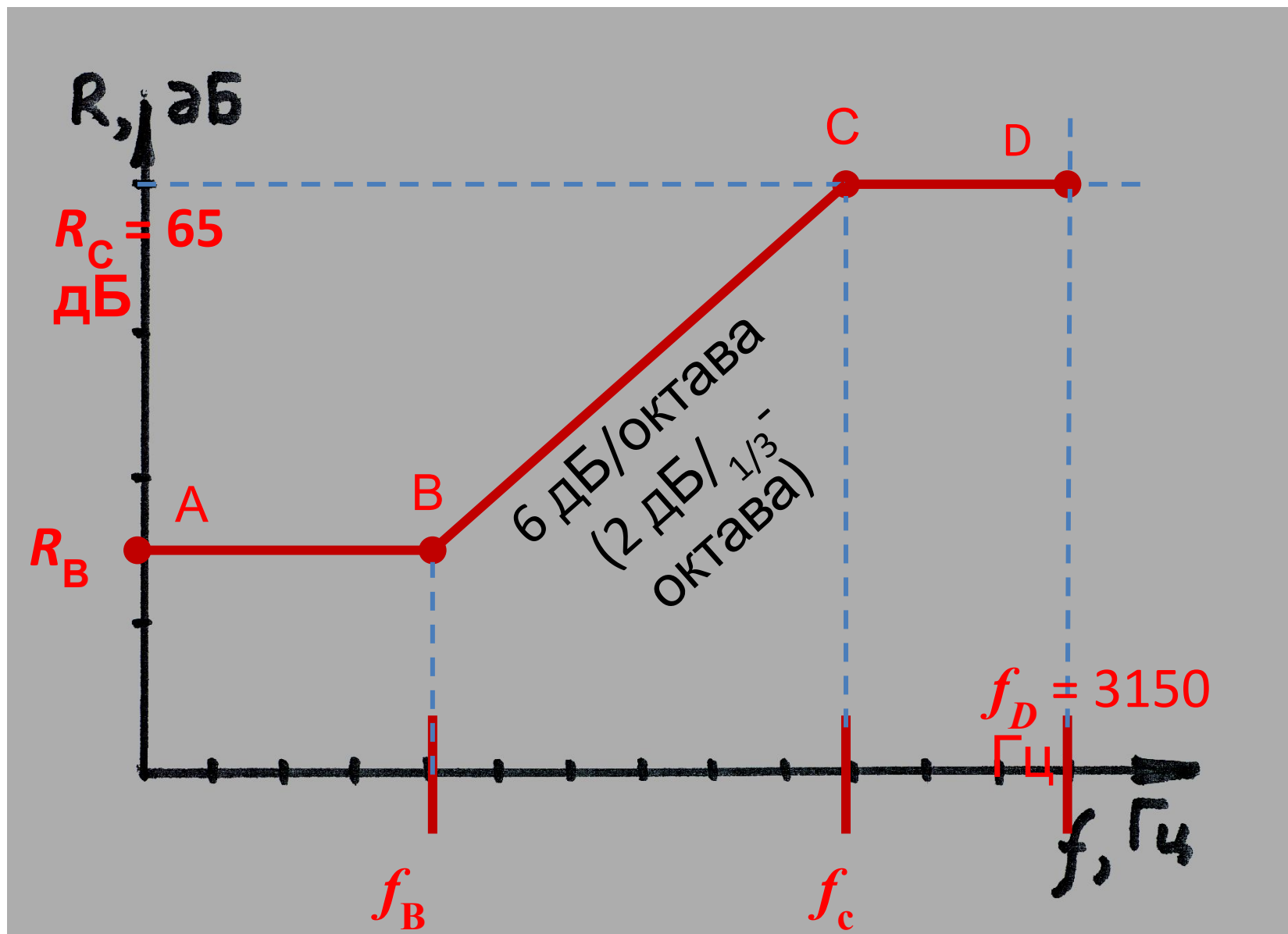


7) определяем значения f_j и $R_{В,j}$ на **участке ВС** расчетной частотной характеристики, имеющей уклон 6 дБ/октава (2 дБ/третьоктава) до достижения $R_{В}$ величины **65 дБ**.



8) строим **участок CD**

(до $f_D = 3150$ Гц).

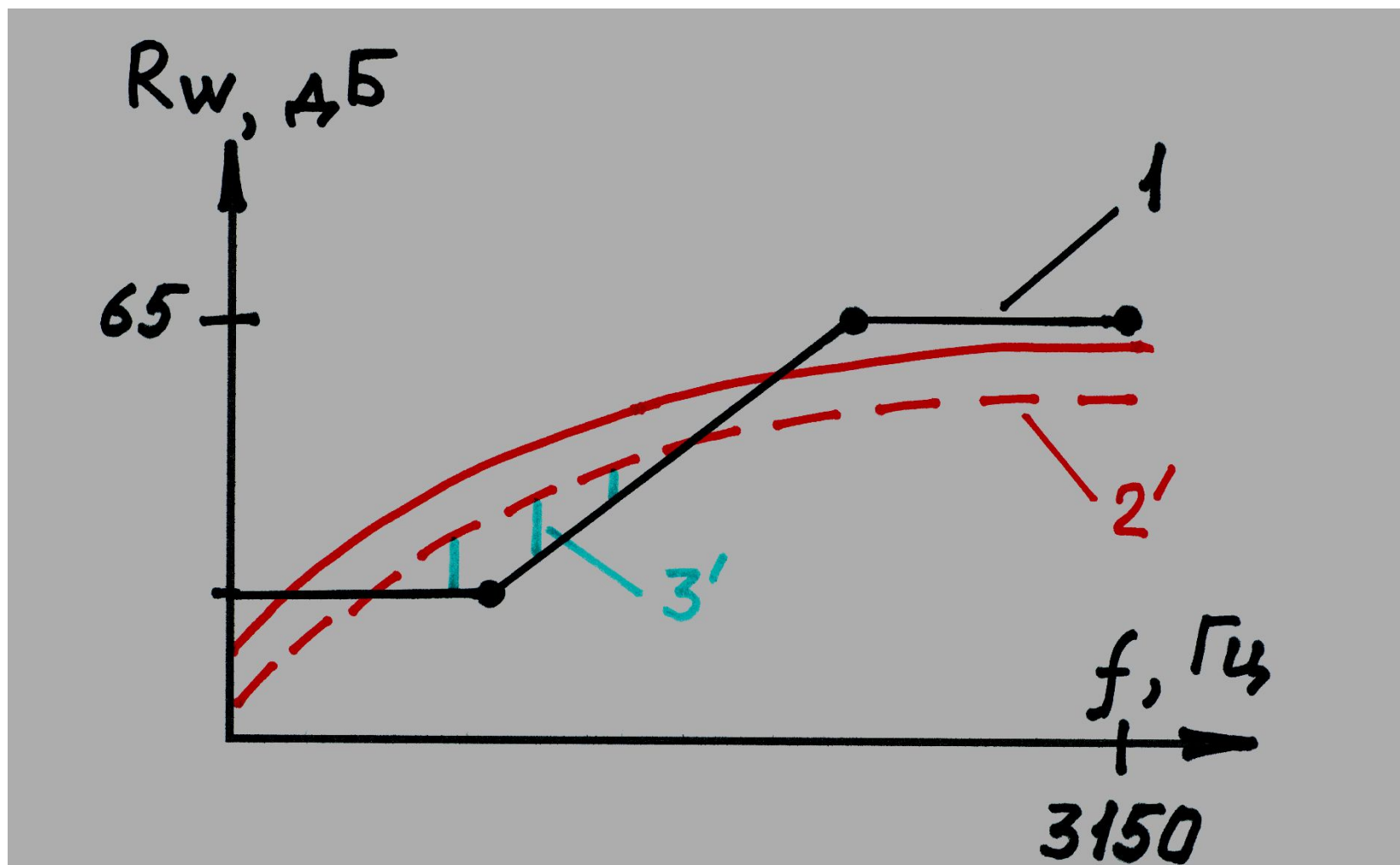


**График ABCD
построен.**

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:



Пара- метр	Ед. изм.	Значения					
f_j	Гц	100	125	...	...	2500	3150
R_j	дБ						
$R_{\text{оц}, j}$	дБ						
НО_j	дБ						
$R'_{\text{оц}, j}$	дБ						
$\text{НО}'_j$	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 $НО_{\Sigma}$** и вводим **поправку Δ**
(величину смещения оценочной кривой
относительно расчетной характеристики на целое
количество дБ):

НО_Σ

$\leq 32 \text{ дБ}$

$> 32 \text{ дБ}$

$\ll 32 \text{ дБ}$

$\Delta = 0$

$\Delta = + n \text{ дБ}$

$\Delta = - n \text{ дБ}$

опр. новые знач. $R'_{\text{оц},j}$

опр. новые знач. $\text{НО}'_j$

снова выполняем анализ

...

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

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

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

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

13) Проверяем выполнение
условия

$$R_w \geq R_w^n$$