

# Неведомая наука - Акустика

Теоретические основы  
шума

# Основные определения

- **Звук** — колебательное движение частиц упругой среды, что распространяется в виде волн в газах, жидкостях или твердых телах
- **Шум** - это нежелательный звук в акустическом диапазоне с частотой от 20 до 20000 Герц, который вызывает раздражение и/или наносит ущерб здоровью.

# Перечень обсуждения

- Децибел
- Частота звука
- Звуковая мощность  
(Уровень интенсивности звука)
- Звуковое давление  
(Уровень звукового давления)
- Взвешенный уровень звука
- Октавная полоса частот

# Звуковая мощность

- Одна из измеримых характеристик звука — интенсивность (количество заключенной в нем энергии)
- Интенсивность звука в любой точке можно измерить как поток энергии, приходящейся на единичную площадку, и выразить в ваттах на квадратный метр ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ )

# Звуковая мощность

- Интенсивность самого слабо слышимого звука (эталон) – 0,000 000 000 001 Вт/м<sup>2</sup> ( $10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>)
- Интенсивность звука от реактивного самолета на расстоянии 50 метров – 10 Вт/м<sup>2</sup> ( $10^1$  Вт/м<sup>2</sup>)
- Интенсивность звука при взлете ракеты на расстоянии 100 метров – 1000 Вт/м<sup>2</sup> ( $10^3$  Вт/м<sup>2</sup>)

# Звуковая мощность

- Шум реактивного самолета в  $10\ 000\ 000\ 000\ 000$  ( $10^{13}$  Вт/м<sup>2</sup>) *превышает эталон*
- *Одноразовое увеличение в 10 раз – один бел (Б).*
- *Шум реактивного самолета – 13 бел или 130 децибел (дБ) относительно эталонного уровня ( $10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>).*

# Интенсивность звука в децибелах

$$\frac{\text{Уровень интенсивности}}{\text{интенсивности}} = 10 \lg \frac{\text{Измеренная интенсивность}}{\text{Эталонная интенсивность}} \text{ (дБ)}$$

$$\log_a b = x; a^x = b$$

$$a = 10; \log_{10} b = \lg b$$

$$\lg b = x; 10^x = b$$

**Логарифм числа  $b$  по основанию  $a$**  определяется как показатель степени, в которую надо возвести основание  $a$ , чтобы получить число  $b$

# Интенсивность звука в децибелах

Пример:

Измеренная интенсивность –  $0,26 \text{ Вт/м}^2$  ( $2,6 \times 10^{-1} \text{ Вт/м}^2$ )

*Уровень интенсивности относительно эталонного уровня ( $10^{-12} \text{ Вт/м}^2$ ):*

$$10 \lg \frac{2,6 \cdot 10^{-1}}{10^{-12}} = 10 \lg(2,6 \cdot 10^{11}) \text{ (дБ)}$$

$$\lg(b \cdot c) = \lg b + \lg c$$

$$10 \lg(2,6 \cdot 10^{11}) = 10(\lg 2,6 + \lg 10^{11}) =$$

$$= 10(0,415 + 11) \approx 114 \text{ дБ}$$



# Перечень типичных шумов

Таблица 2

Интенсивность типичных шумов	
Примерный уровень звукового давления, дБА	Источник звука и расстояние до него
160	Выстрел из ружья калибра 0,303 вблизи уха
150	Взлет лунной ракеты, 100 м
140	Взлет реактивного самолета, 25 м
120	Машинное отделение подводной лодки
100	Очень шумный завод
90	Тяжелый дизельный грузовик, 7 м Дорожный перфоратор (незаглушенный), 7 м
80	Звон будильника, 1 м
75	В железнодорожном вагоне
70	В салоне небольшого автомобиля, движущегося со скоростью 50 км/ч; квартирный пылесос, 3 м
65	Машинописное бюро Обычный разговор, 1 м
40	Учреждение, где нет специальных источников шума
35	Комната в тихой квартире
25	Сельская местность, расположенная вдали от дорог

# Звуковая мощность осевого вентилятора

- Диаметр вентилятора
- Окружная скорость конца лопасти
- Аэродинамический профиль лопасти
- Угол наклона ведущей кромки
- Условия входа воздуха в диффузор
- Мощность на валу

# Звуковая мощность осевого вентилятора

$$L_w = 56 + 30 \lg V_{л} + \lg W$$

- $L_w$  – Уровень интенсивности, дБ
- $V_{л}$  – окружная скорость конца лопасти, м/с
- $W$  – мощность на валу электродвигателя, кВт

# Сложение источников шума

Таблица 1	
Сложение уровней интенсивности звука (точность $\pm 0,5$ дБ)	
Разность между двумя уровнями, дБ	Прибавка к более высокому уровню
0	3
1	2,5
2	2
3	2
4	1,5
5	1
6	1
7	1
8	0,5
9	0,5
10	0

# Звуковое давление

Разница между давлением в присутствии звука и давлением при отсутствии звука в определённой точке пространства называется звуковым давлением.

Таблица 3		
Интенсивность, звуковое давление и уровень звука в воздухе при комнатной температуре и нормальном давлении на уровне моря		
Интенсивность, Вт/м <sup>2</sup>	Звуковое давление, Н/м <sup>2</sup>	Уровень звука, дБ
100 000 000	200 000	200
10 000 000		190
1 000 000	20 000	180
100 000		170
10 000	2 000	160
1 000		150
100	200	140
10		130
1	20	120
0,1		110
0,01	2	100
0,001		90
0,0001	0,2	80
0,00001		70
0,000001	0,02	60
0,0000001		50
0,00000001	0,002	40
0,000000001		30
0,0000000001	0,0002	20
0,00000000001		10
0,000000000001	0,00002	0

Диапазон звуковых давлений не так широк, как диапазон интенсивностей - давление возрастает вдвое медленнее интенсивности.

# Звуковое давление

- Если измерить звуковое давление, как и интенсивность, в логарифмическом масштабе и ввести множитель 2, получим аналогичные величины дБ

$$\frac{\text{Уровень давления}}{\text{давления}} = 20 \lg \frac{\text{Измеренное давление}}{\text{Эталонное давление}} \text{ (дБ)}$$

Эталонное давление звука –  $0,000\ 02 \text{ Н/м}^2$  ( $2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$ )

# Уровень звукового давления

- Уровень звукового давления – это слышимый шум выраженный в децибелах определяющий интенсивность в точке отдаленной на определенное расстояние от источника шума

$$L_p = L_w - 20 \lg R$$

*$L_p$  – Уровень звукового давления, дБ*

*$L_w$  – Уровень интенсивности, дБ*

*$R$  – радиус от точки измерения до центра источника шума, м*

# Принципиальная разница

- Звуковая мощность - это абсолютная характеристика, относящаяся к источнику звука.
- Звуковое давление - это величина, относящаяся как к точке в пространстве, так и к источнику звука. Звуковое давление, измеренное в определённой точке пространства, зависит как от источника звука и расстояния до точки, где производится измерение, так и от характеристик системы измерения.
- Звуковую мощность нельзя измерить напрямую. Зная звуковое давление, её можно вычислить в специальных акустических лабораториях.



# Шумомер – прибор для измерения звукового давления

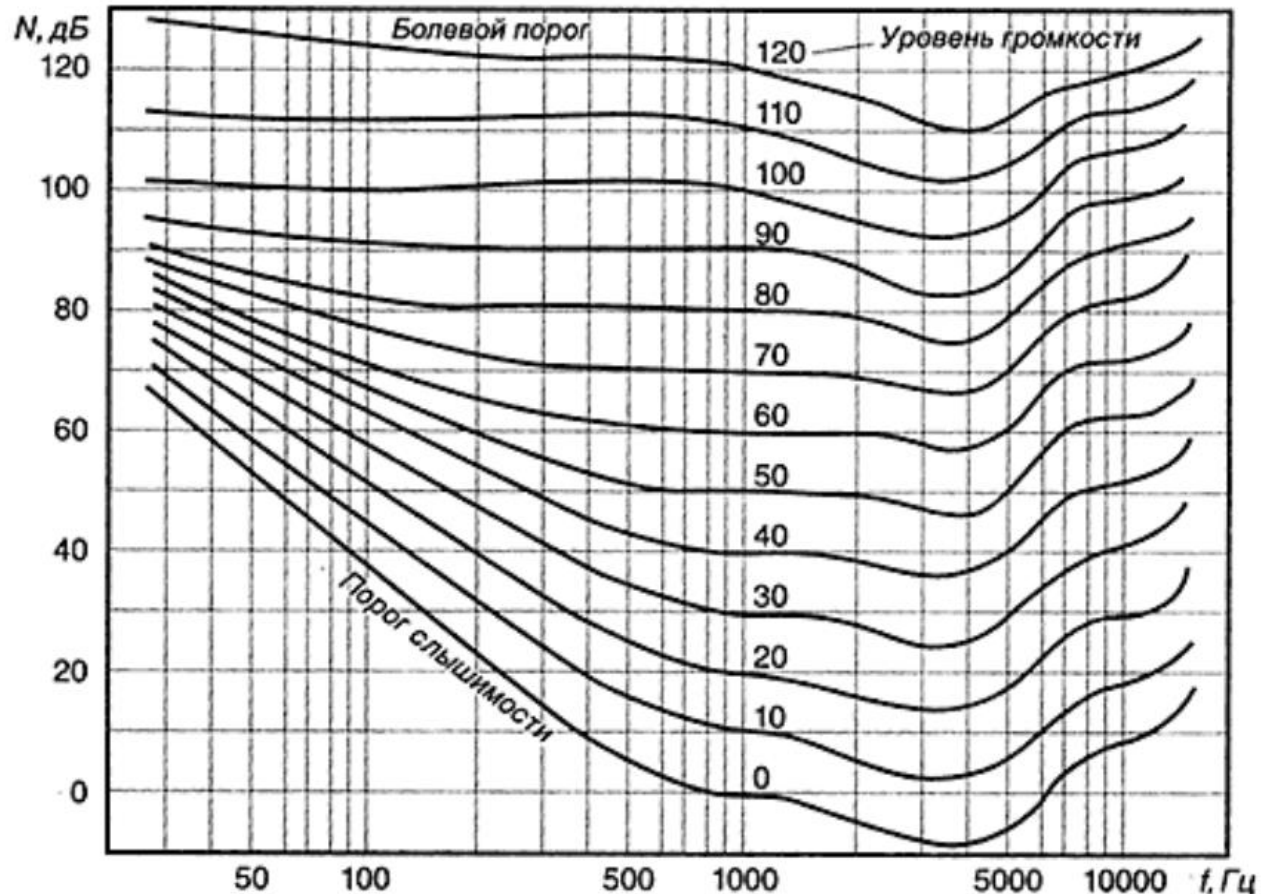
- Шумомер представляет собой микрофон, к которому подключен вольтметр, отградуированный в децибелах.
- Поскольку электрический сигнал на выходе с микрофона пропорционален исходному звуковому сигналу, прирост уровня звукового давления, воздействующего на мембрану микрофона вызывает соответствующий прирост напряжения электрического тока на входе в вольтметр, что и отображается посредством индикаторного устройства, отградуированного в децибелах.



# Громкость звука

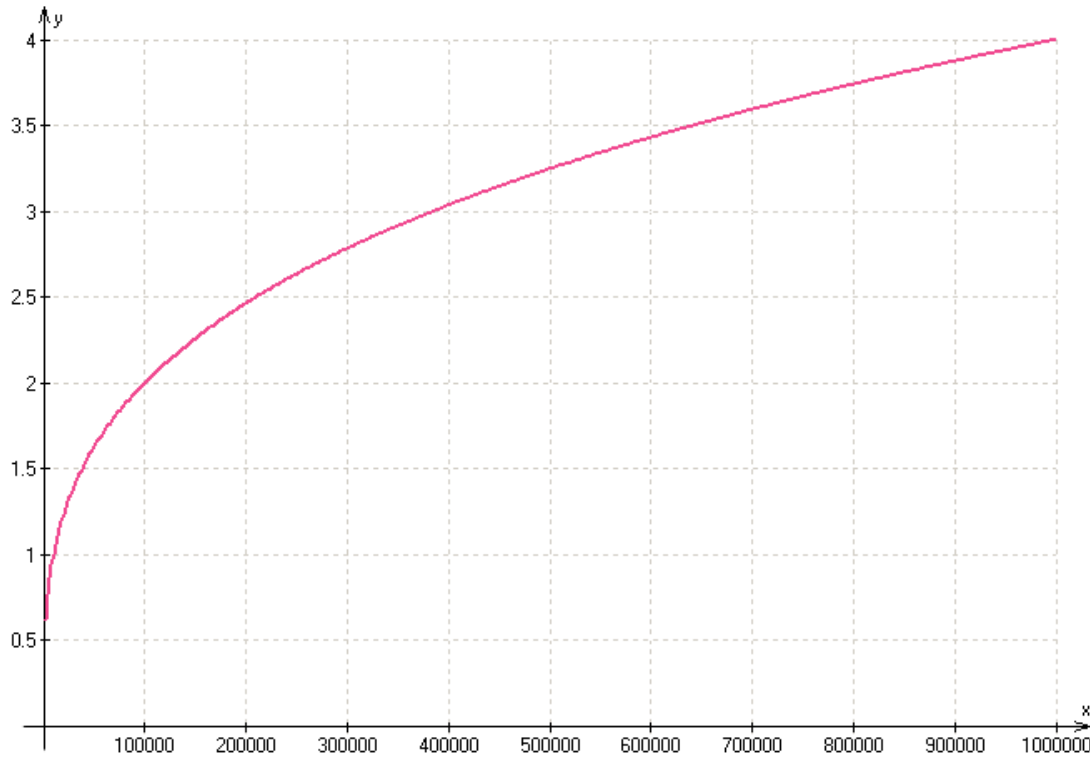
- Уровень интенсивности шума, выраженный в децибелах, является физической характеристикой шума и не позволяет судить о физиологическом ощущении его громкости.
- Для оценки не только физической величины интенсивности шума, но и физиологической особенности слуха (чувствительность слуха к звукам разной частоты) введено понятие уровня громкости с единицей измерения сон.
- Уровень громкости определяют путем сравнения со звуком частотой 1000 Гц (эталонный тон), для которого уровень интенсивности шума в децибелах принят также и за уровень громкости в фонах.
- Путем сравнения громкости звуков различной частоты с эталонным тоном с частотой 1000 Гц получены диаграммы кривых равной громкости, которые утверждены в качестве нормативных.

# Громкость звука



**Фон** — логарифмическая единица для оценки уровня громкости звука. Шкала фонов от шкалы децибелов отличается корреляцией значения громкости с чувствительностью человеческого слуха на разных частотах.

# Сон - Интенсивность



По горизонтальной шкале отложено отношение интенсивности звука к условному значению пороговой чувствительности уха, по вертикальной — значения громкости в сонах

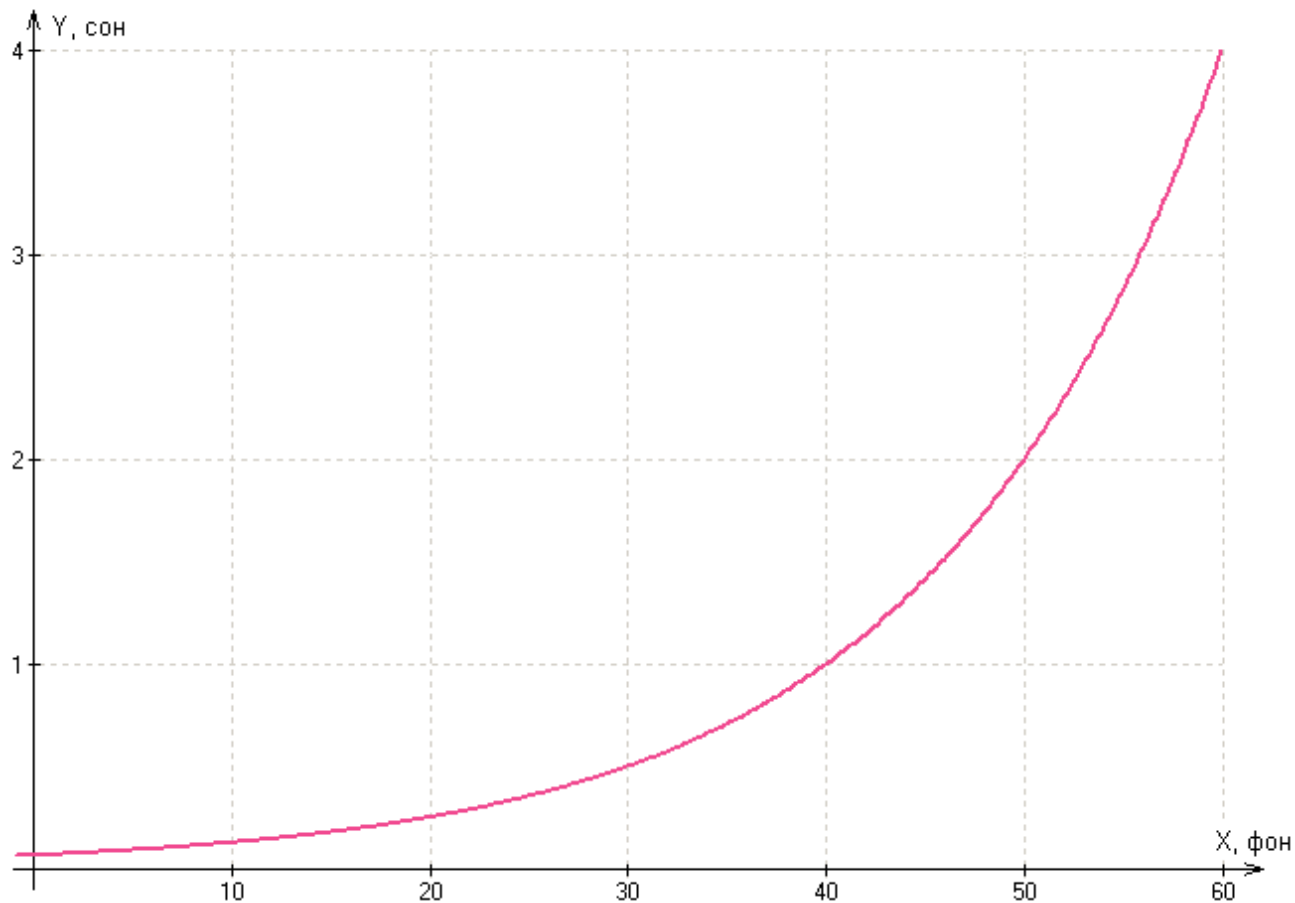
$$J = k \cdot I^{1/3}$$

*J* – уровень громкости (психологическая оценка шума)

*I* – уровень интенсивности (физическая оценка шума)

*k* – коэффициент влияния частоты

# Сон - Фон



**1 сон** соответствует громкости чистого тона частотой 1000 Гц с уровнем **40 дБ**.

При увеличении уровня на каждые 10 дБ значение громкости в сонах удваивается.

# Взвешенный уровень шума

- Шумомеры при оценке шума используют три взвешивающих фильтра, которые ослабляют низкие частоты, как это делает слуховая система.
- Фильтры имеют разные амплитудно-частотные характеристики А, В и С.
- кривая А со спадом -30 дБ на частоте 50 Гц по отношению к уровню на частоте 1000 Гц,
- кривая В со спадом -12 дБ на частоте 50 Гц,
- кривая С со спадом -2 дБ на частоте 50 Гц.'

# Взвешенный уровень шума

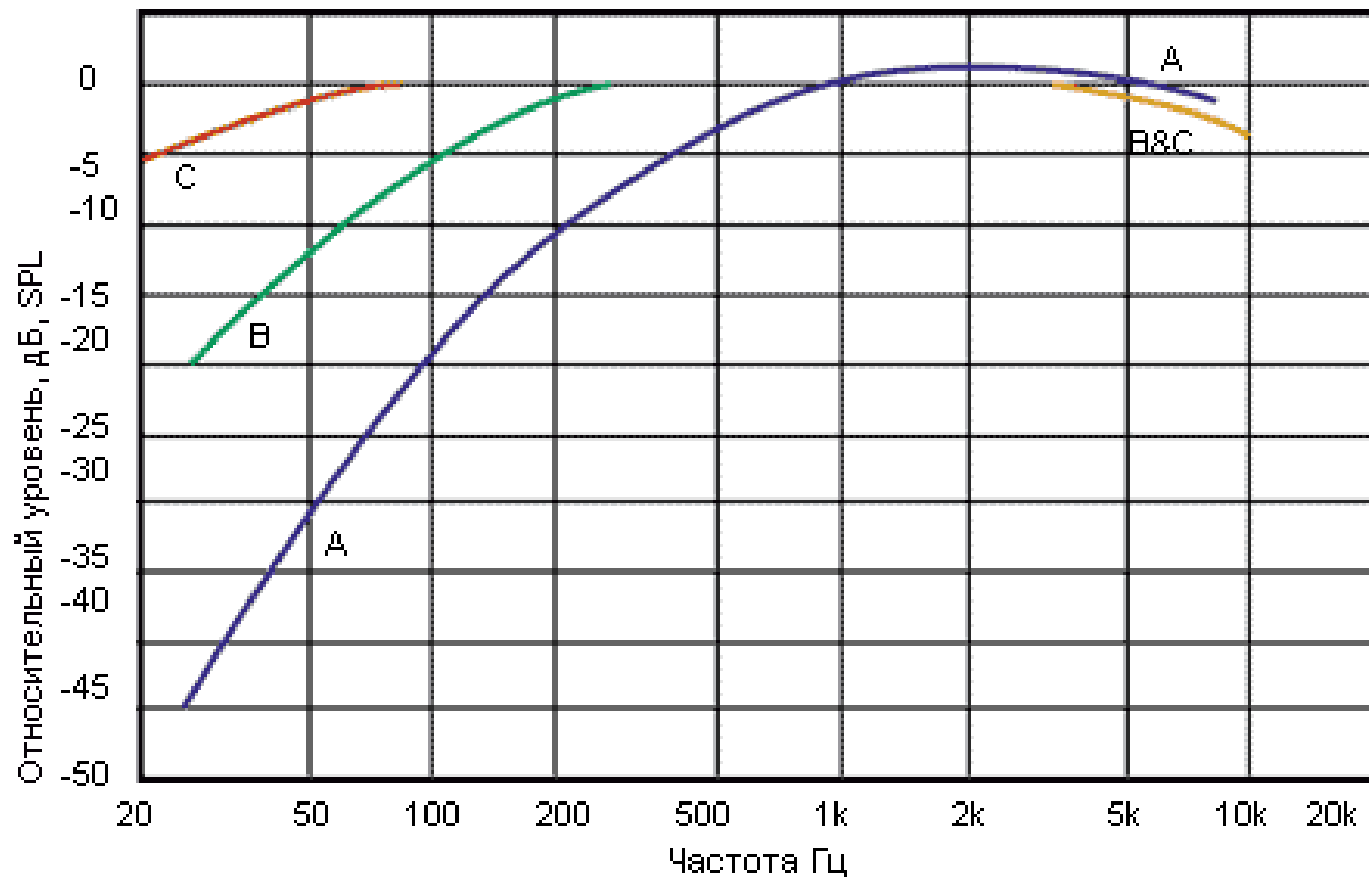
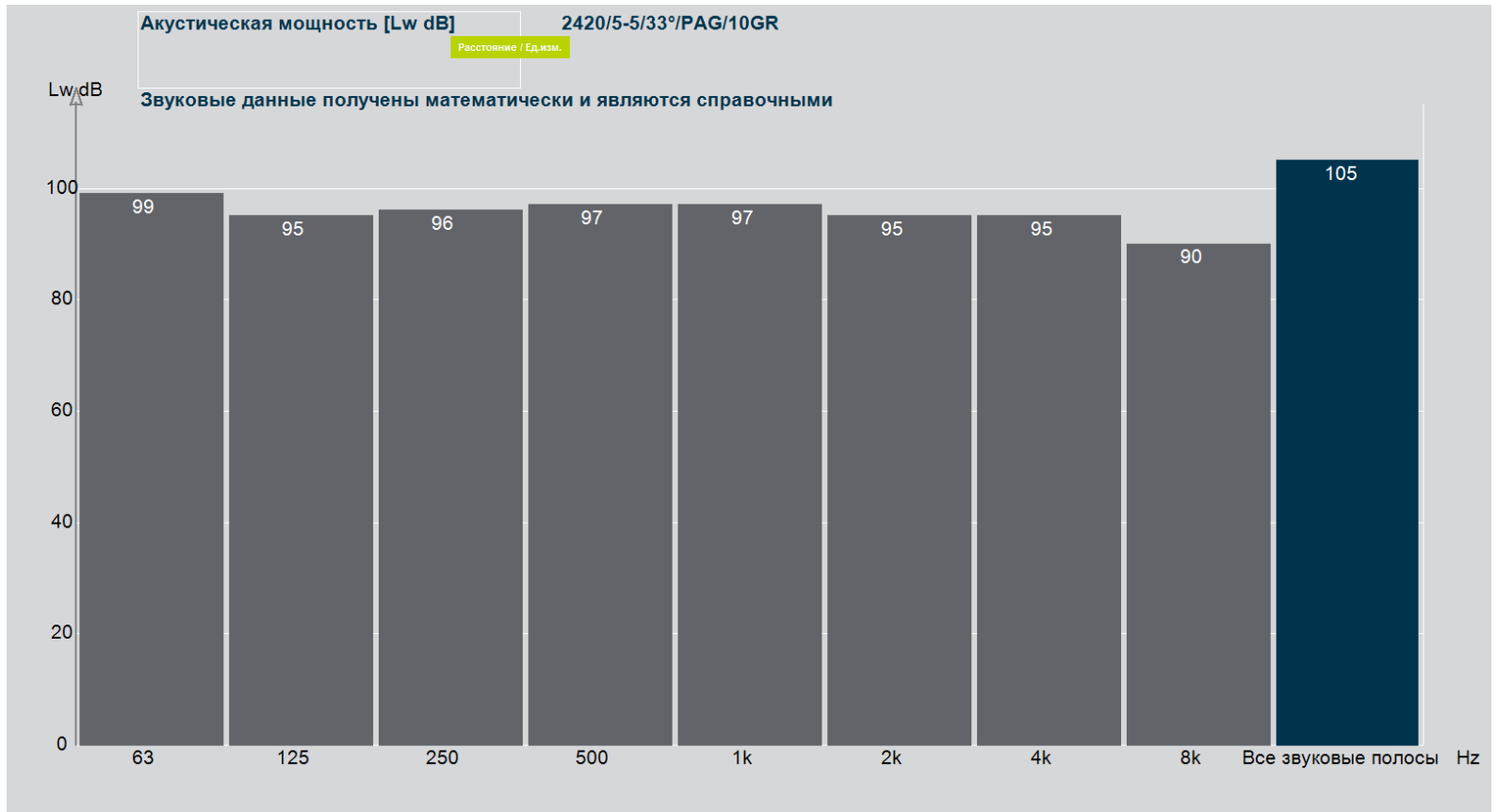


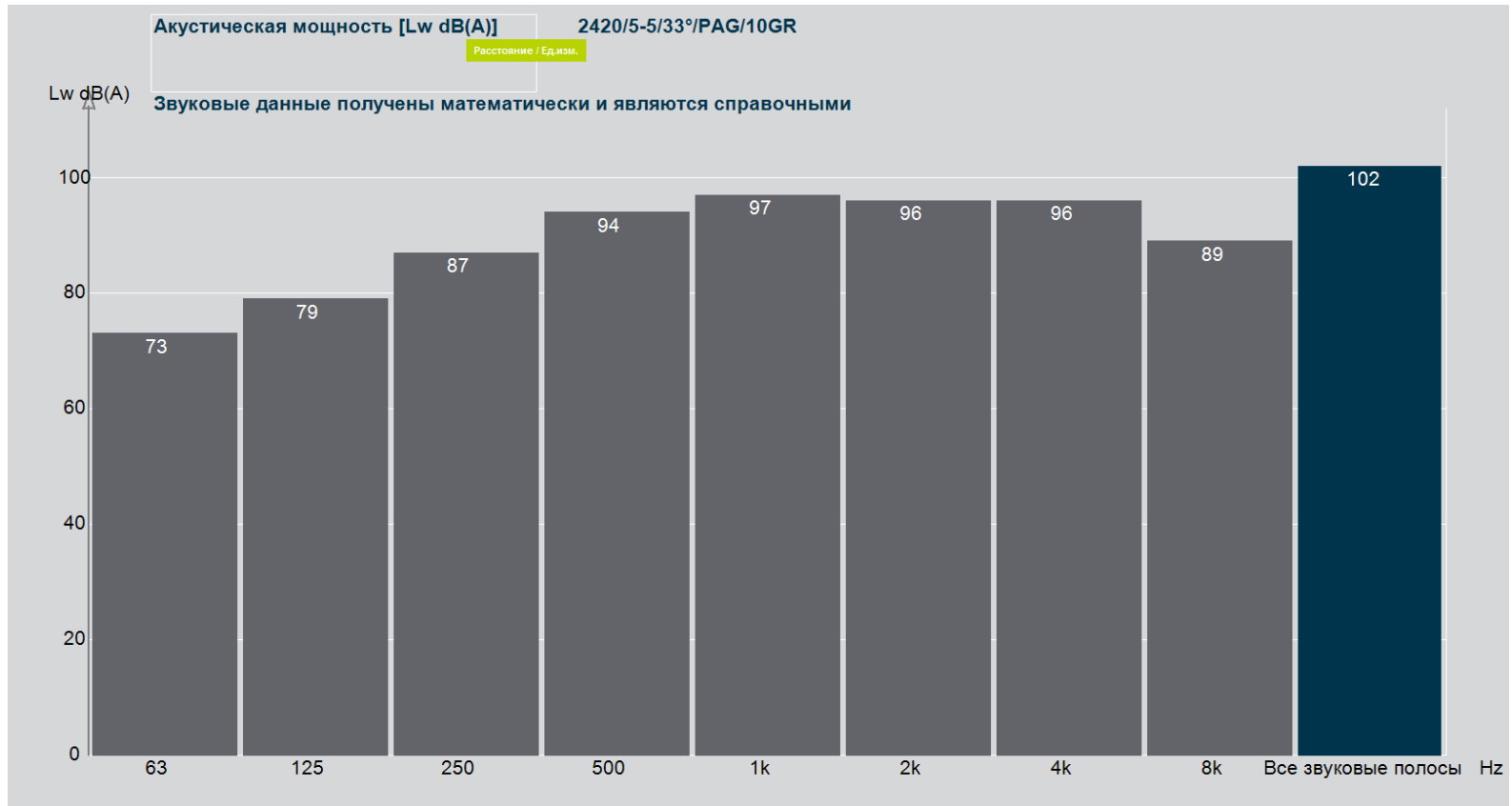
Рис 2 Взвешенные кривые A, B, C для измерения уровней шума

# Октавная полоса частот





# Октавная полоса частот



# Октавная полоса частот

