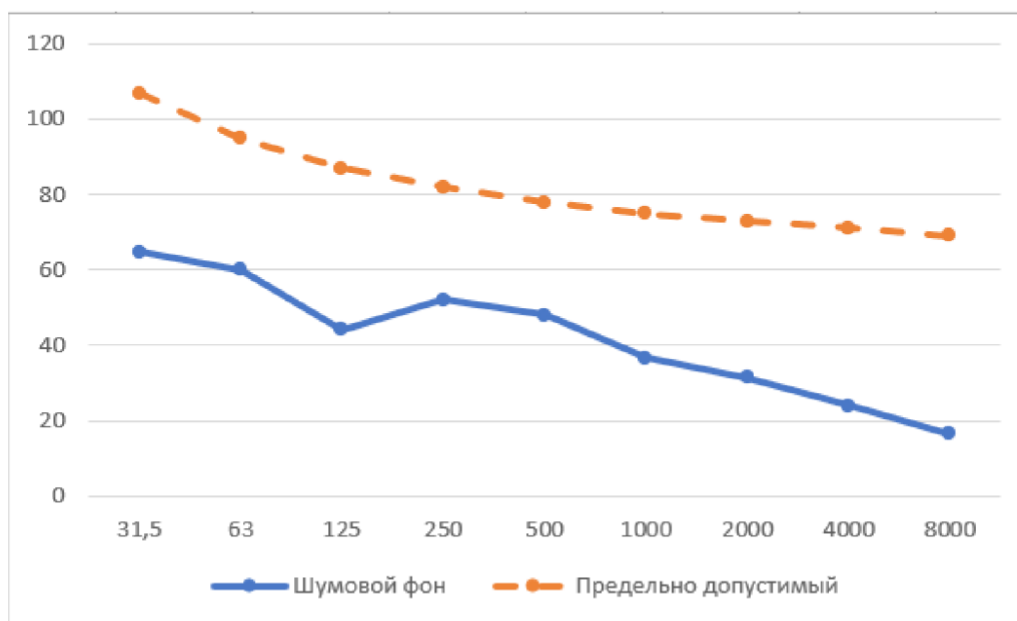


## 1. Исследование зависимости параметров шумовой помехи.

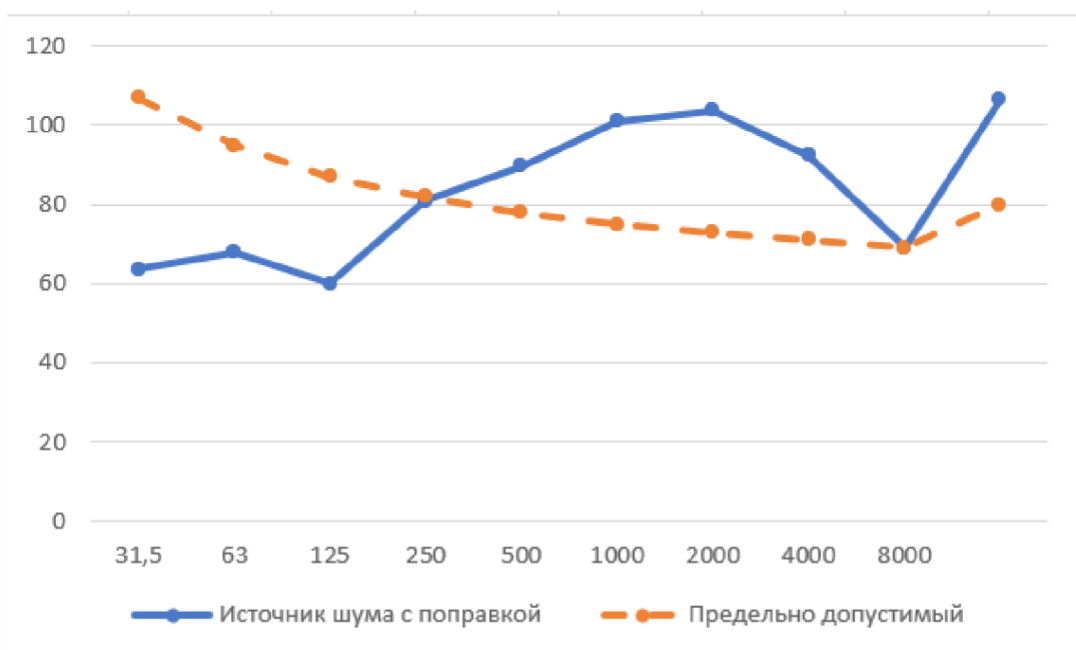
Условия	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Шумовой фон	64,7	60,1	44,1	52,1	48,0	36,6	31,4	24,1	16,6	47,5
Предельно допустимые уровни	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80



**Вывод:** фоновый шум является преимущественно низкочастотным, так как наибольшее давление звука наблюдается в октавных полосах с низкими частотами. Фон не превышает предельно допустимые уровни звукового давления для выбранного вида работ.

## 2. Исследование зависимости параметров шума от частоты

Условия	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука, дБ А
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Шумовой фон	64,7	60,1	44,1	52,1	48,0	36,6	31,4	24,1	16,6	47,5
Ист. шума без ср. защиты	59,3	68,9	60,0	80,9	89,6	100,9	103,7	92,4	69,1	106,4
Ист. шума без ср. защиты с поправкой	63,7	67,9	60,0	80,9	89,6	100,9	103,7	92,4	69,1	106,4
Предельно допустимые уровни	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

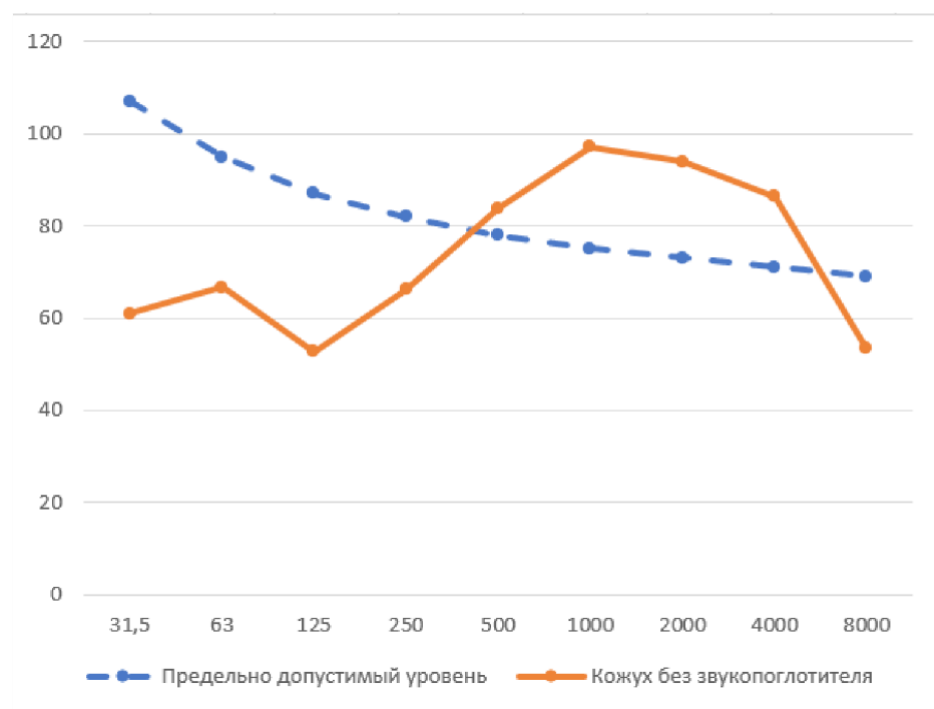
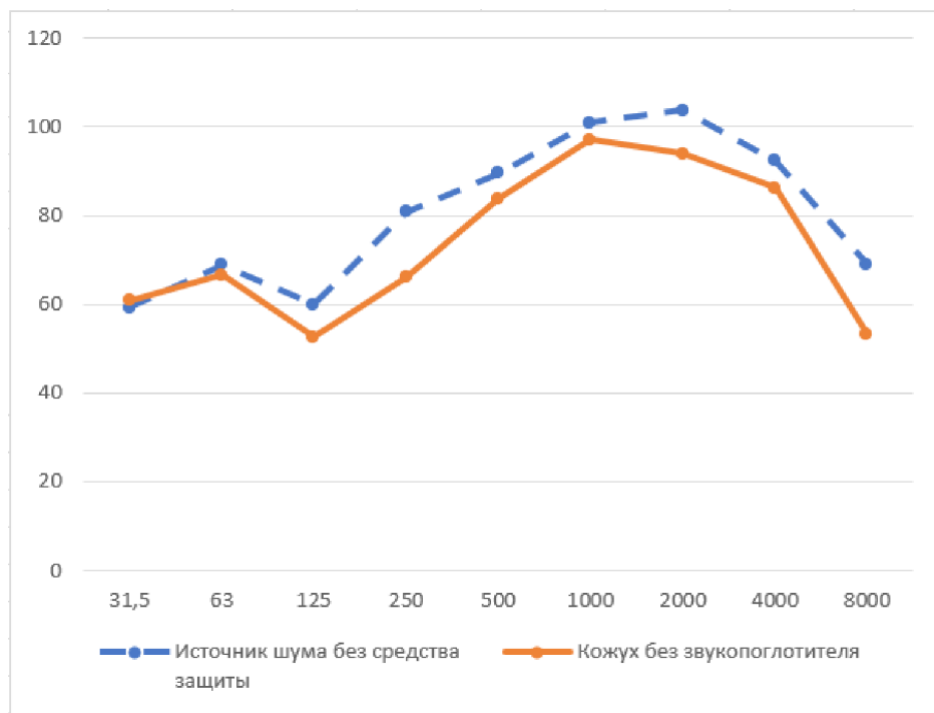


**Вывод:** без средств защиты шум превосходит предельно допустимый для выбранного типа работ, необходима дополнительная защита.

### 3. Исследование средств защиты от шума

Условия	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Ист.шума без ср. защиты	59,3	68,9	60,0	80,9	89,6	100,9	103,7	92,4	69,1	106,4
Кожух без звукопоглотителя	60,9	66,6	52,6	66,1	83,8	97,1	93,9	86,3	53,3	99,3
Эффективность	—	2,3	7,4	14,8	5,8	3,8	9,8	6,1	15,8	
Кожух со звукопоглотителем	63,6	72,4	57,4	66,6	83,1	94,3	86,4	76,2	45,7	95,1
Эффективность	—	—	2,6	14,3	6,5	6,6	17,3	16,2	23,4	
Алюминиевый экран	64	70,9	59,1	77,4	83,6	97,7	94,6	85,6	54,4	100,1
Эффективность	—	—	0,9	3,5	6	3,2	9,1	6,8	14,7	
Алюминиевый экран с окном	59,4	69,6	67,6	79,8	85,5	99,3	102	88,6	62,5	104,7
Эффективность	—	—	—	1,1	4,1	1,6	1,7	3,8	6,6	
ДВП	56,6	71,6	58,7	78	84,2	97,5	94,8	85,8	55,2	100
Эффективность	2,7	—	1,3	2,9	5,4	3,4	8,9	6,6	13,9	
Стальной экран с вентиляционным отверстием	55,5	68,5	62,7	78,7	83,9	97,4	94,7	86,3	55,8	99,9
Эффективность	3,8	0,4	—	2,2	5,7	3,5	9	6,1	13,3	
Кожух со звукопоглотителем + стальной экран с вентиляционным отверстием	58,3	68,2	62,2	62,7	74,8	88,3	84,7	65,3	39,4	90,1
Эффективность	1	0,7	—	18,2	14,8	12,6	19	27,1	29,7	

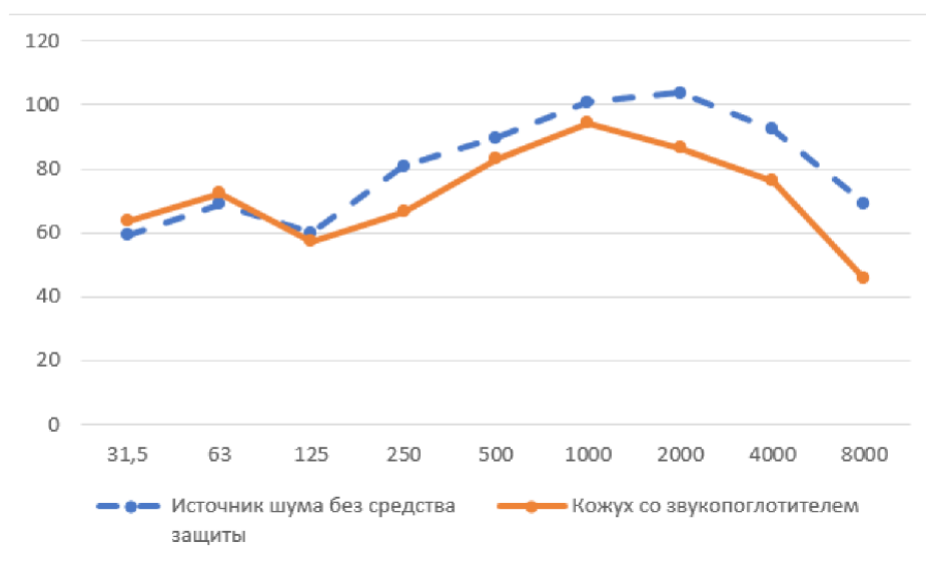
**Кожух без звукопоглотителя**

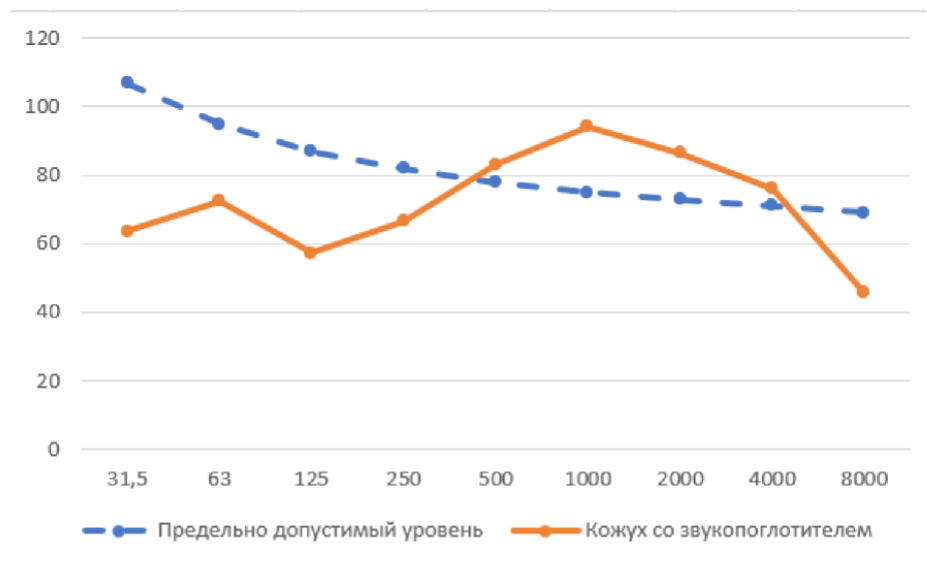




Кожух является звукоизолятором, ограждающим источник звука со всех сторон и не пропускающим его часть во внешний объем посредством отражения звуковых волн от стенок кожуха.

### Кожух со звукопоглотителем





В кожухе со звукопоглотителем падающие звуковые волны вызывают колебания воздуха в порах вещества. В следствии вязкости воздуха колебания его в таких порах сопровождаются трением, и кинетическая энергия колеблющегося воздуха переходит в тепловую.

**Вывод:** кожух со звукопоглотителем пропускает меньше звуковых волн на высоких частотах, чем без звукопоглотителя, так как энергия волн с высокой частотой в порах вещества звукопоглотителя переходит в тепловую энергию. Чтобы звукопоглотитель пропускал меньше волн на низких частотах, необходимо увеличить толщину материала. При увеличении толщины материала увеличится длина пути звука в материале, с увеличением пути увеличивается коэффициент звукопоглощения для звуковых волн с низкой частотой.

## Алюминиевый экран

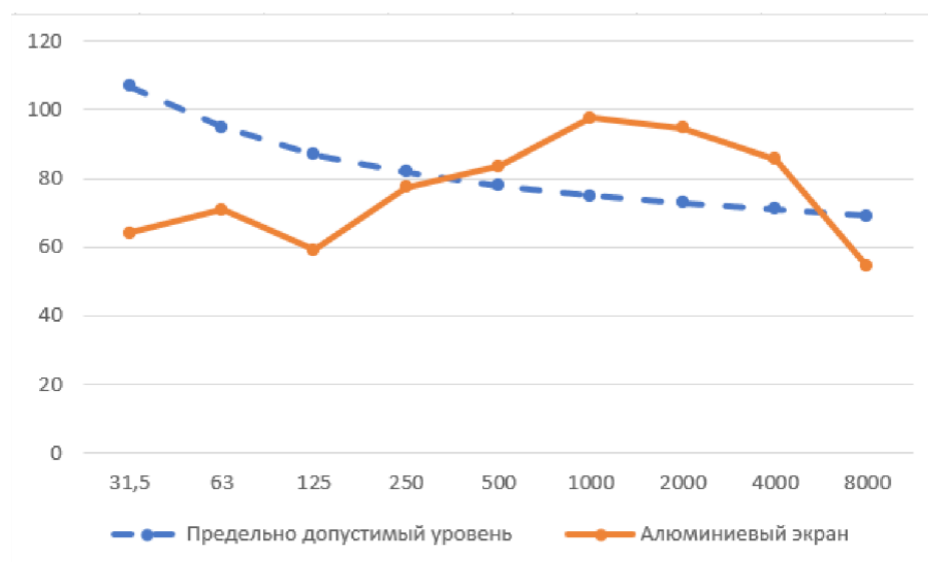
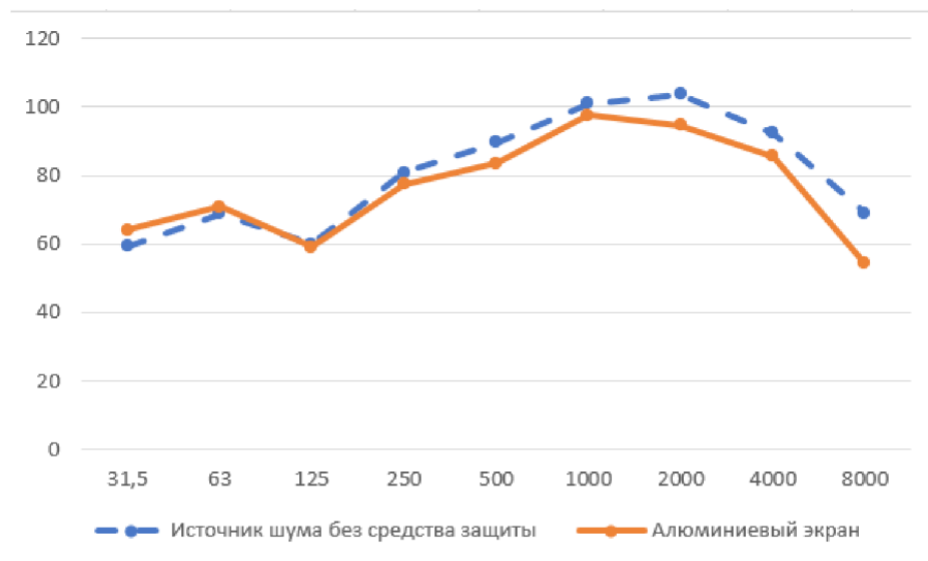
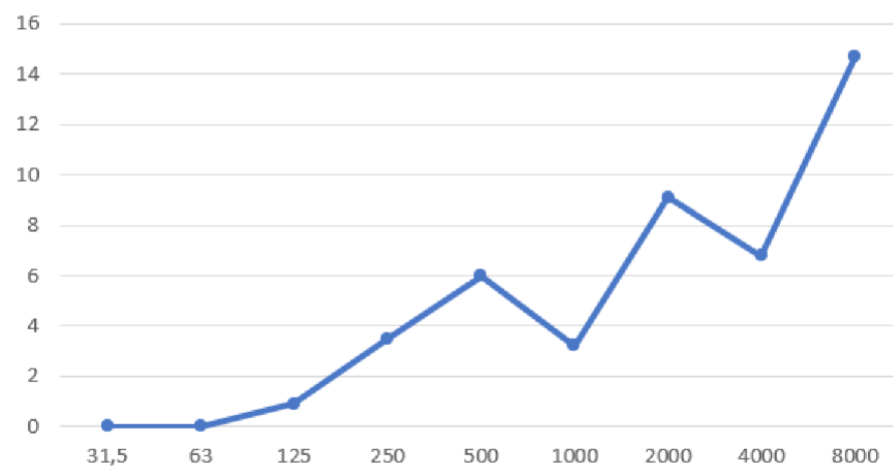


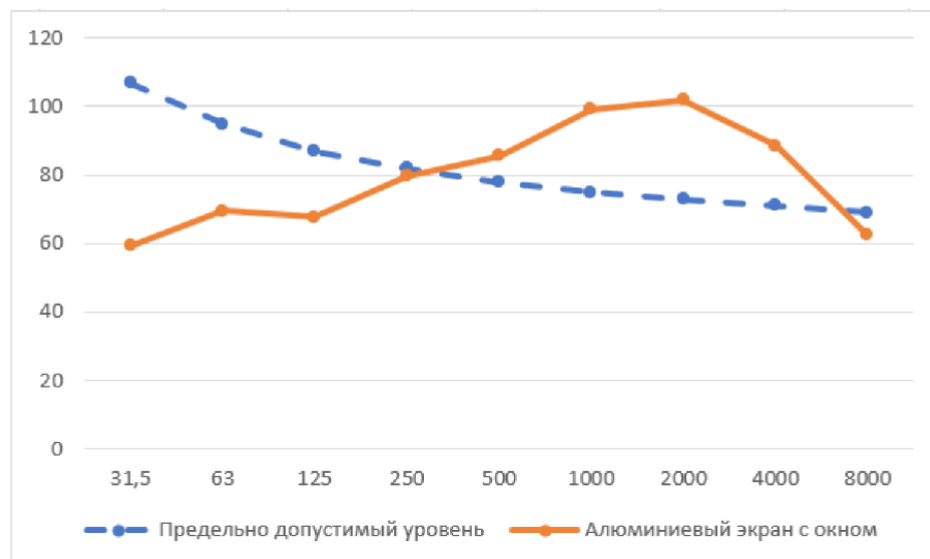
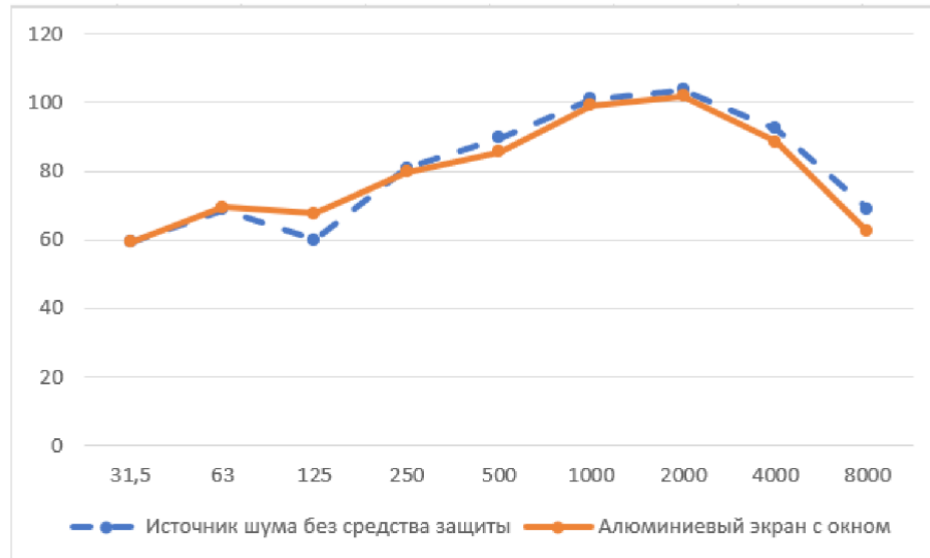
График эффективности



Алюминиевый экран является звукоизолирующей перегородкой, уменьшающей уровень звукового давления за счет отражения звуковых волн

от поверхности перегородки. Алюминиевый экран эффективен для уменьшения звукового давления волн с высокой частотой, однако показатель звукового давления превышает предельно допустимый порог.

### Алюминиевый экран с окном

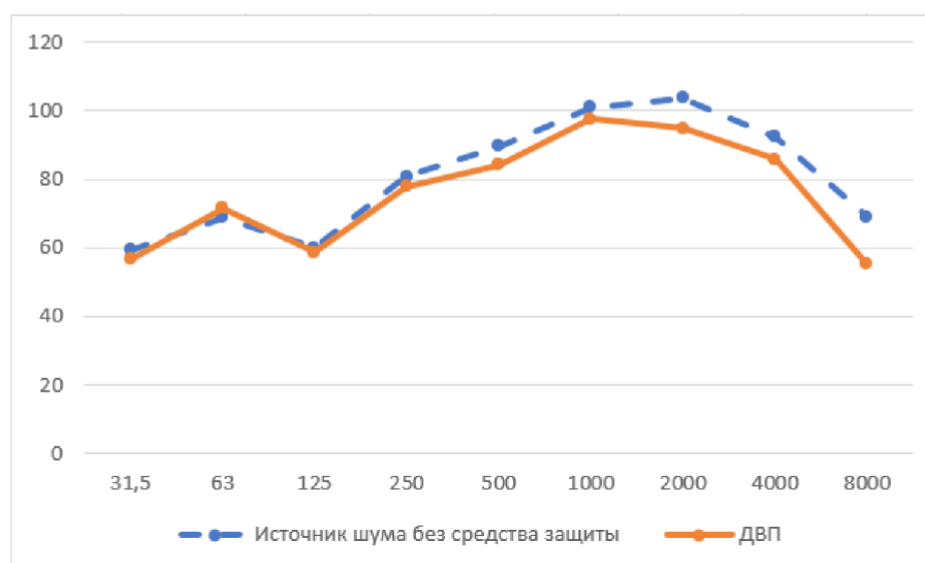


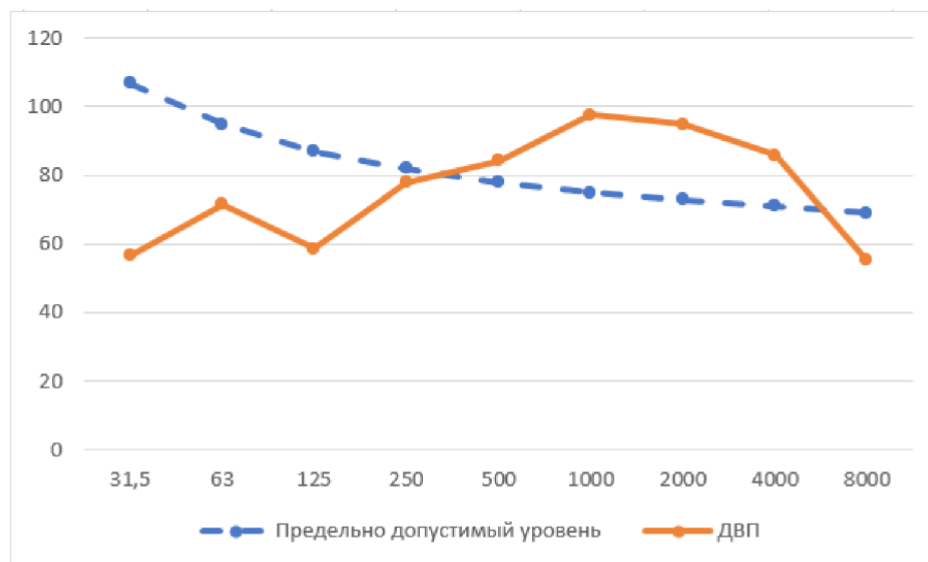




Алюминиевый экран с окном является акустическим экраном, обеспечивающим защиту путем отражения прямых звуковых волн. Но поскольку среда проведения измерения обладает хорошей звукоотражающей способностью, от которой акустический экран защищает слабо, то его применение становится малоэффективным. Экран не защищает от низкочастотных звуковых волн из-за огибания ими экрана вследствие дифракции. Звуковое давление превышает предельно допустимый порог.

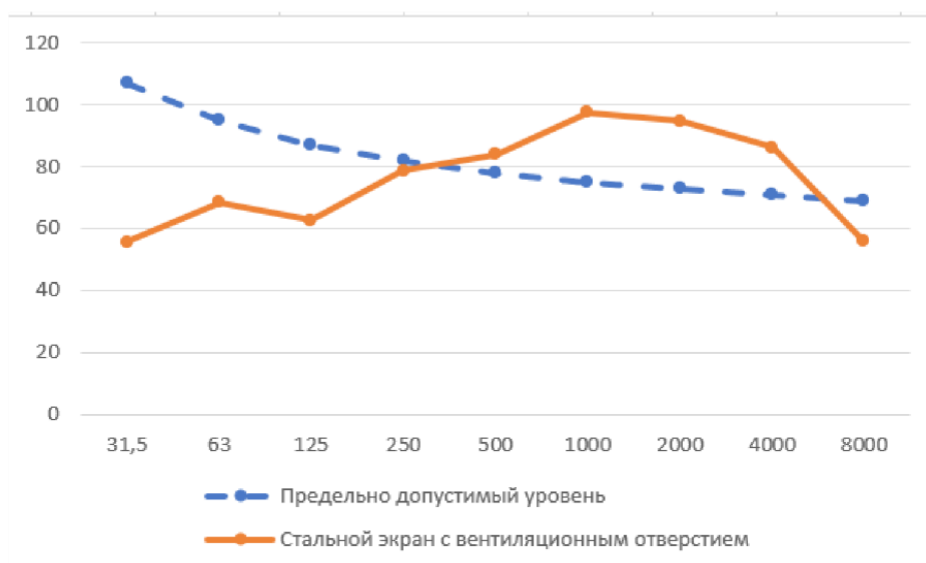
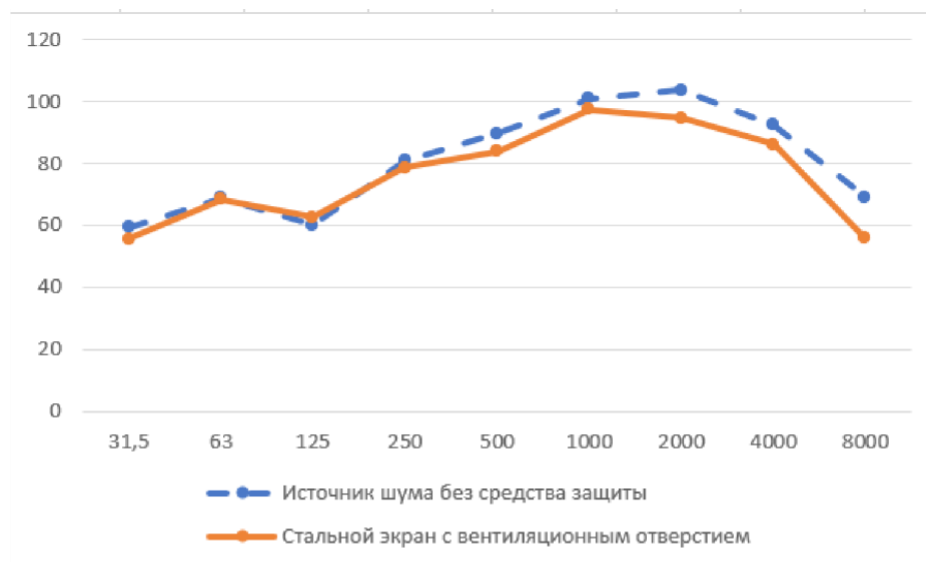
## ДВП





ДВП является звукоизолирующей перегородкой, уменьшающей уровень звукового давления за счет отражения звуковых волн от поверхности перегородки. Коэффициент отражения ДВП меньше, чем коэффициент отражения у алюминиевой перегородки, поэтому отраженных звуковых волн меньше и ДВП-перегородка менее эффективна. ДВП-перегородка эффективна для уменьшения звукового давления волн с высокой частотой, однако показатель звукового давления превышает предельно допустимый порог.

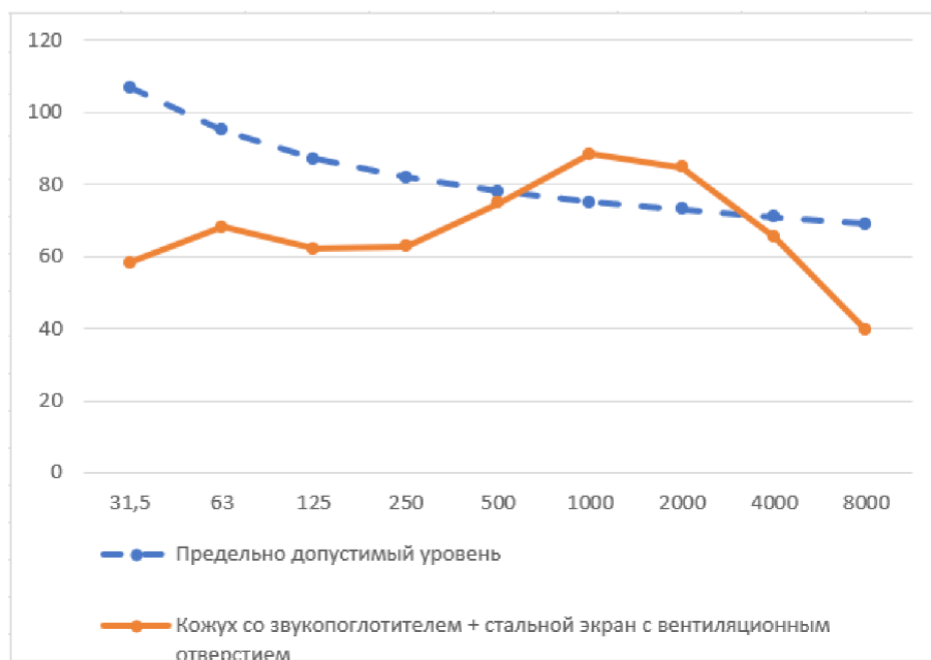
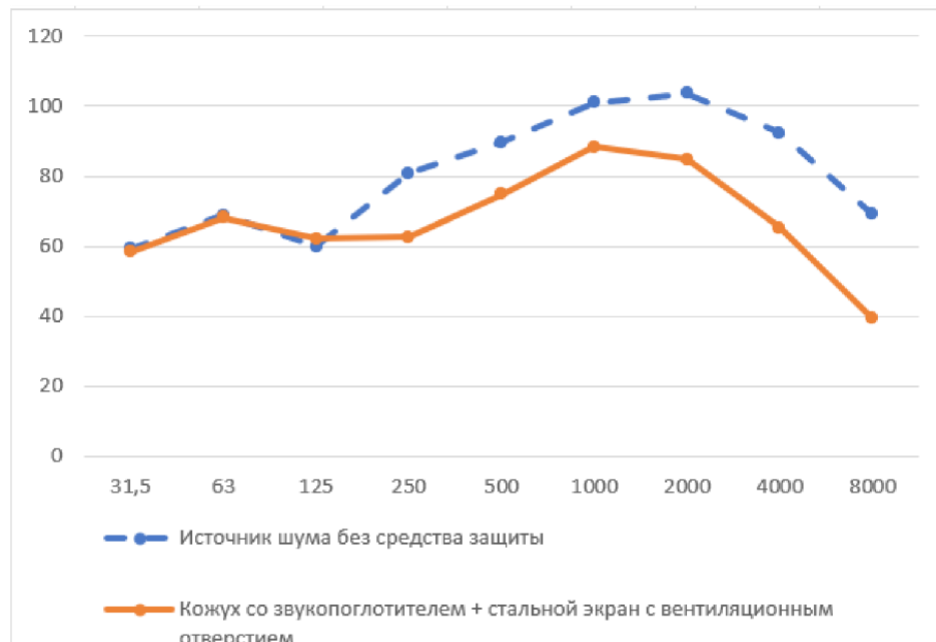
### **Стальной экран с вентиляционным отверстием**



Стальной экран с вентиляционным отверстием является акустическим экраном, обеспечивающим защиту путем отражения прямых звуковых волн. Экран не защищает от низкочастотных звуковых волн из-за огибания ими

экрана вследствие дифракции. Звуковое давление превышает предельно допустимый порог.

### Кожух со звукопоглотителем + стальной экран с вентиляционным отверстием





Кожух со звукопоглотителем + стальной экран с вентиляционным отверстием дают максимальную эффективность, так включает себя эффект звукопоглощения от звукопоглощающего материала кожуха, эффект звукоизоляции стенок корпуса кожуха и эффект акустического экранирования стального экрана с вентиляционным отверстием. При использовании таких мер звуковое давление лишь немного превышает предельно допустимый порог шума.

**Вывод:** комбинированная защита является лучшей среди использованных, так как включает в себя применение сразу нескольких видов защиты (экран + перегородка + шумопоглотитель).

#### 4. Теоретический анализ принципов работы средств защиты на разных частотах

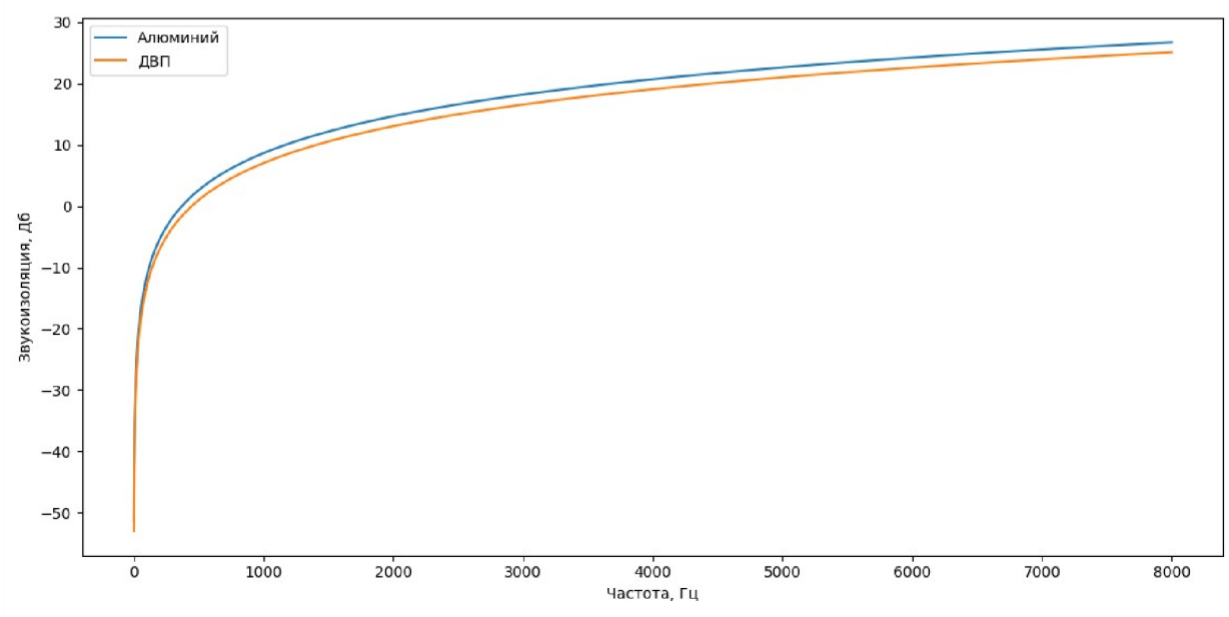
##### Перегородки из алюминия и ДВП

Под воздействием падающих волн перегородка начинает совершать колебательные движения и таким образом сама воспроизводит звук.

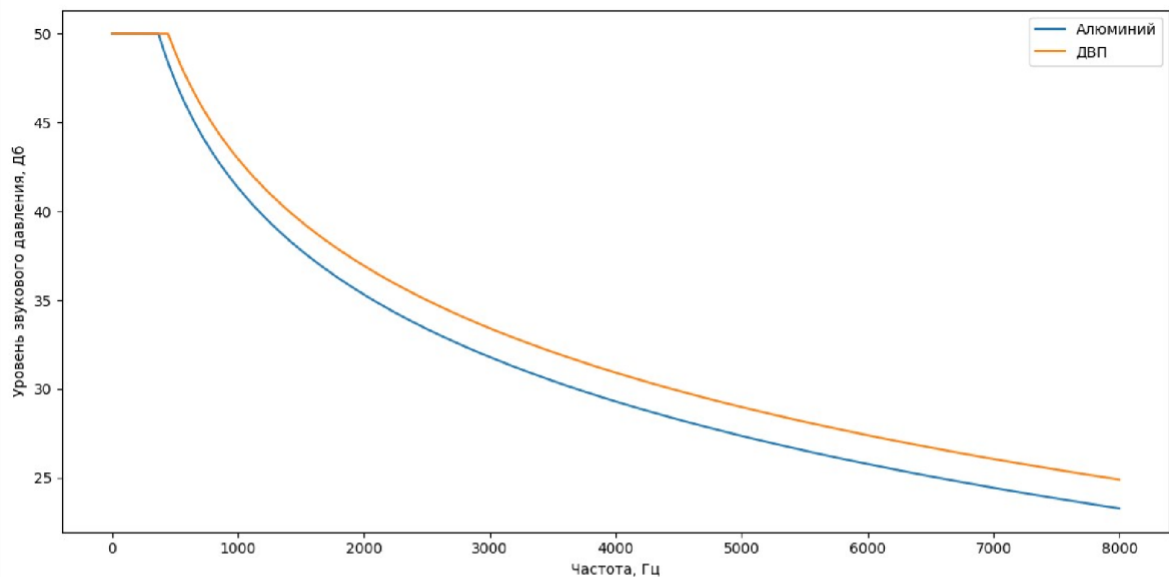
Зависимость звукоизоляции от поверхностной массы и частоты можно представить в следующем виде:

$$ЗИ = 20 \lg(mf) - 60 = 20 \lg(\rho h f) - 60(1)$$

Построим графики для алюминия ( $\rho = 2712 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, h = 10^{-3} \text{ м}$ ) и ДВП ( $\rho = 750 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, h = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ). Так как ДВП – неоднородный материал, то в его внутреннем строении есть воздушные промежутки, а значит он так же может быть рассмотрен как поглотитель. Учтем это в виде увеличения константы.



Тогда для одинакового на всех частотах шума:



### Анализ алюминиевого экрана с окном

При наличии проемов звукоизоляция снижается, так как часть звука проходит через экран, не встречая препятствий. В данном случае так же следует учитывать эффект дифракции, позволяющий волнам огибать препятствия. Эффективность экрана в данном случае зависит от того, попадает ли микрофон в область «тени».

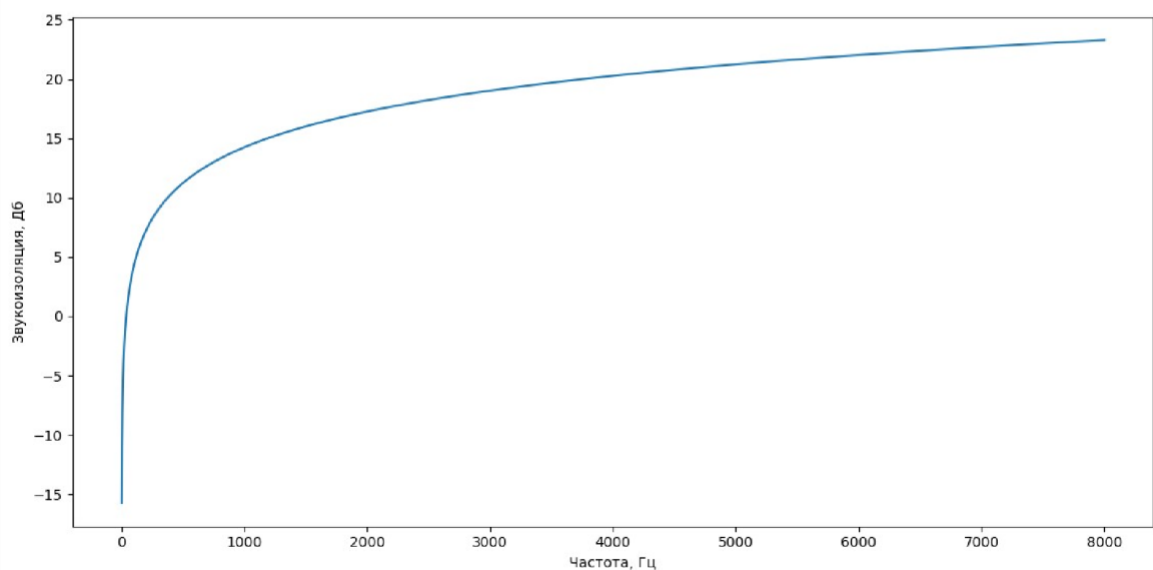
Эффективность экрана в таком случае может быть рассчитана по формуле:

$$\Delta L_{\text{экp}} = 10 \lg 40 N - 10 \lg n$$

Для расчета числа Френеля возьмем  $A=B=1.1\text{ м}$ ,  $d=2\text{ м}$ , тогда  $N = \frac{0.22}{\lambda} = \frac{0.22 f}{v}$ ,

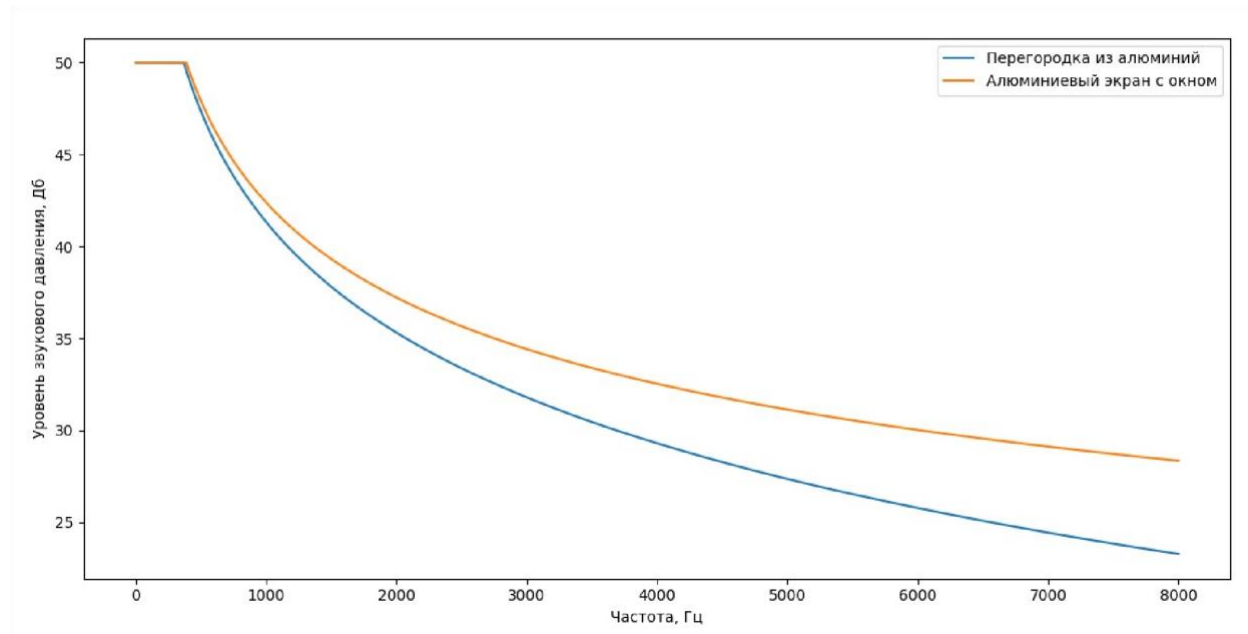
$v$  – скорость звука

Возьмем  $n=1$



Данные вычисления учитывают только звук, попавший в микрофон с

помощью дифракции, но стоит так же учитывать звук, прошедший сквозь преграду. Для этого используем результаты, полученные в прошлом пункте. В результате для одинакового на всех частотах звука получим:



### Анализ экрана с вентиляционными отверстиями

Прохождение звука через данный экран возможно двумя способами: создавая колебания в самом материале и прохождение сквозь отверстия (дифракция).

Данная ситуация может быть рассмотрена как экран с щелями. В таком случае снижение звукоизоляции может быть рассчитано по следующей формуле:

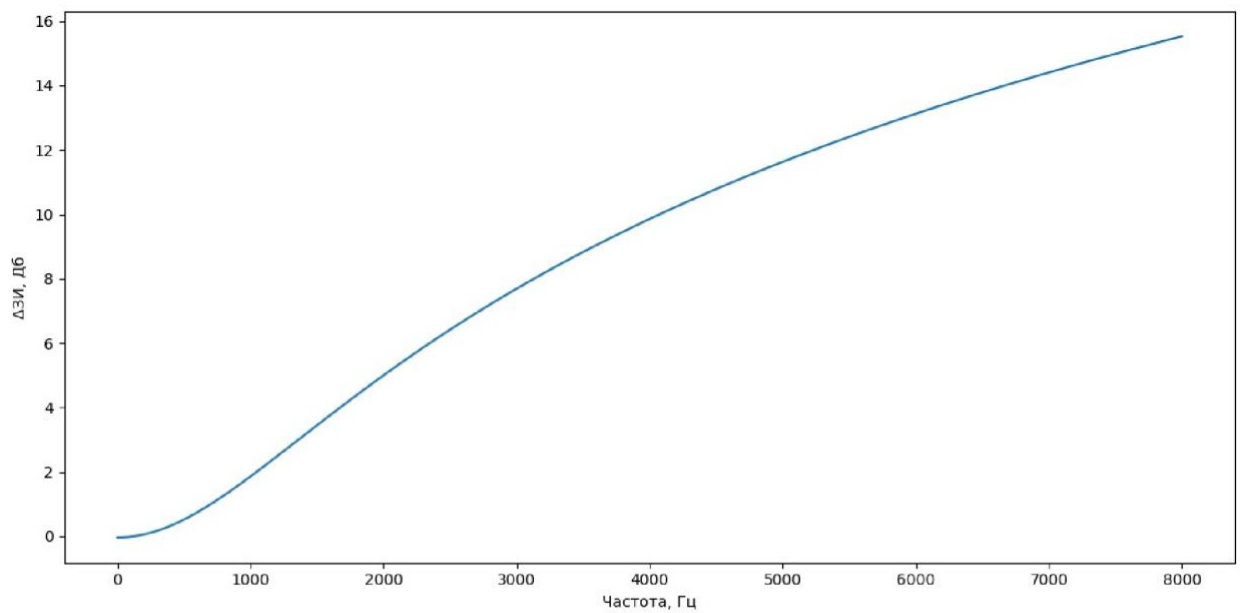
$$\Delta Z I_{np} = 10 \lg \left( \frac{1 + \frac{10^{0.13 I_{op}} S_{np}}{S_{op}}}{1 + \frac{S_{np}}{S_{op}}} \right)$$

Примем, что размеры стального листа – 1м на 1м и размеры щелей – 0.01м на 0.15м. Число щелей – 6.

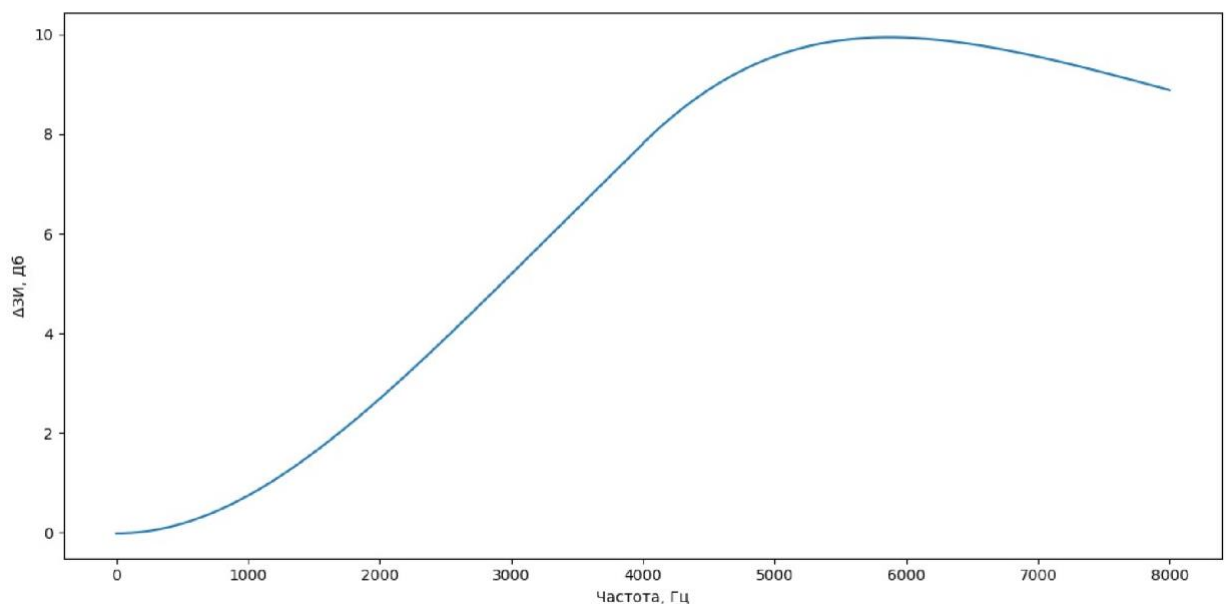
$$\Delta Z I_{np} = 10 \lg \left( \frac{1 + 0.009 * 10^{0.13 I_{op}}}{1.009} \right)$$

Получили график зависимости снижения звукоизоляции от частоты:

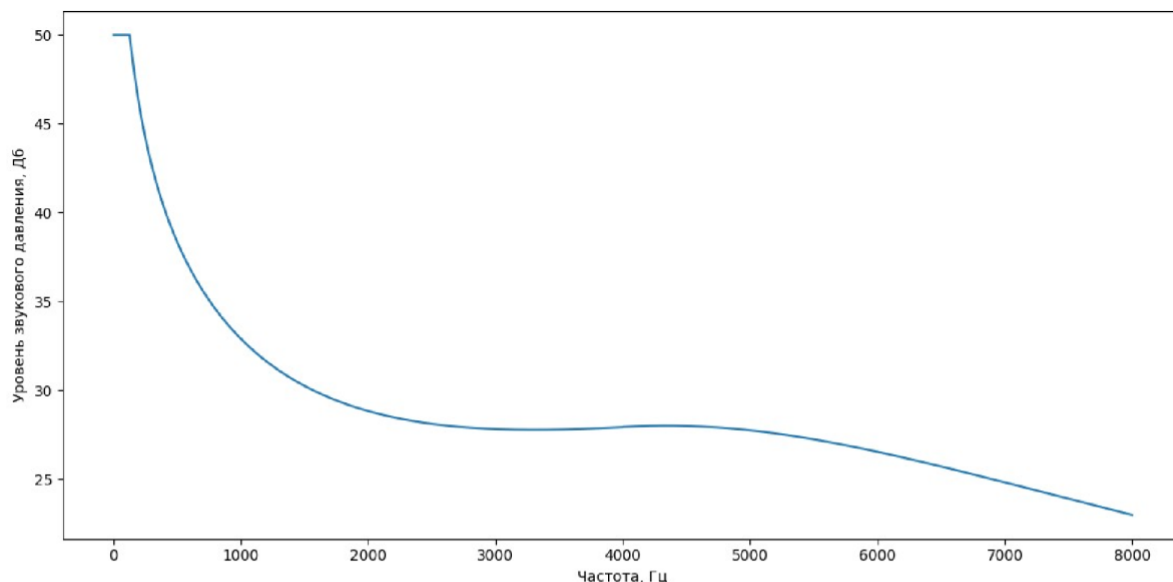




Данные вычисления рассматривают вентиляционные отверстия как дырки, но на самом деле за ними так же находится сталь, но в закругленной форме, а значит высокочастотный шум, для которого дифракция проявляется слабо, проходящий через отверстия, будет встречать на своем пути сталь, которую не сможет избежать. Тогда можем предположить, что график изменится следующим образом:



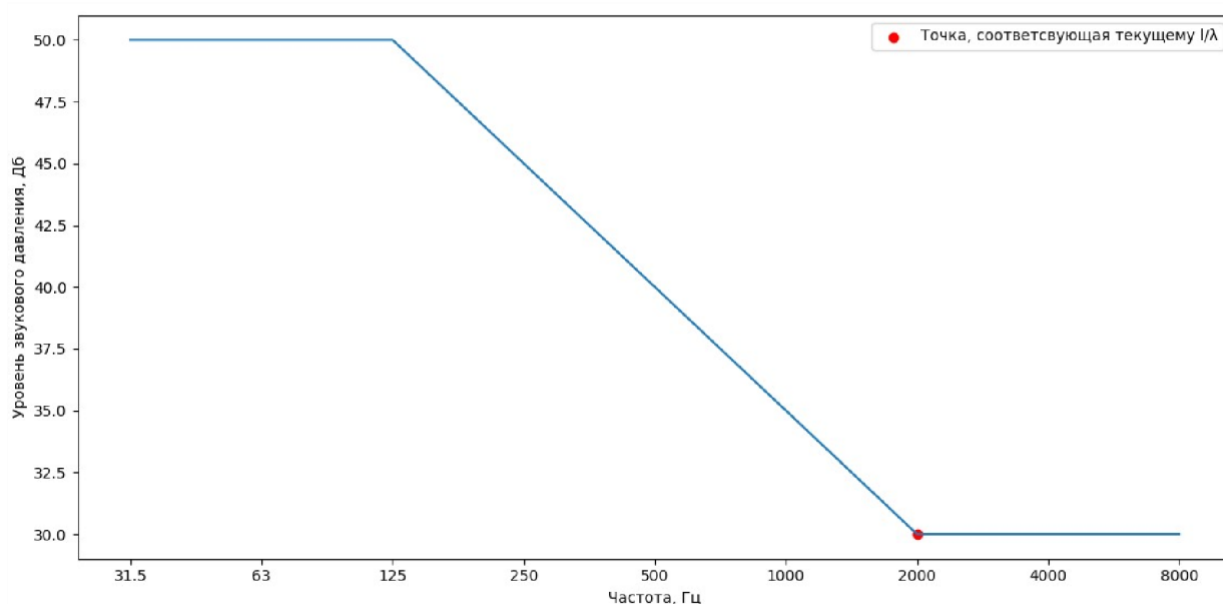
Тогда для одинакового на всех частотах звука:



### Анализ кожухов

При прохождении звука через кожух звуковые колебания вызовут колебания воздуха, содержащиеся в порах, которые будут совершаться с трением, в результате чего звуковая энергия перейдет в тепловую. При этом увеличения толщины приводит к увеличению коэффициента звукопоглощения на более низких частотах. Так же для каждого материала существует толщина, увеличение которого не даст прироста к звукопоглощению.

В результате можем представить зависимость уровня звукового давления от частоты в следующем виде:



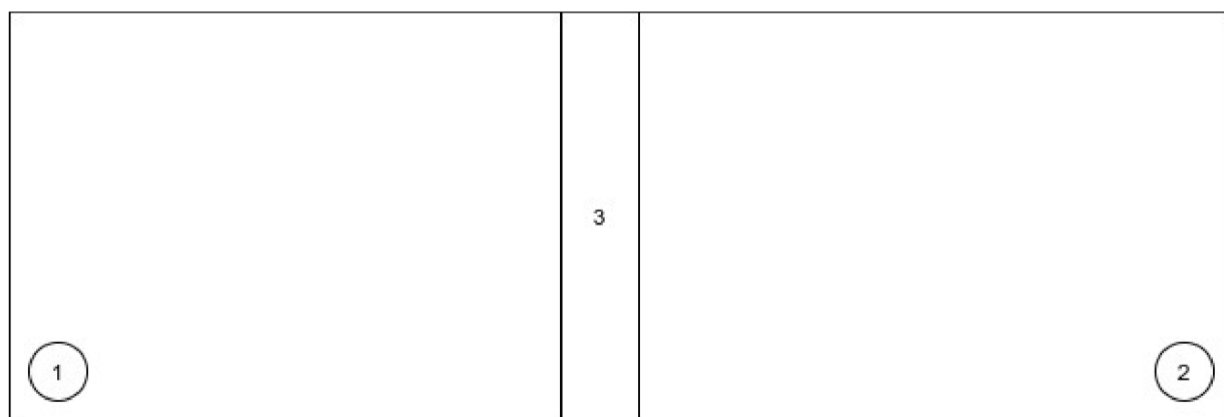
**Вывод:** рассмотренные варианты защиты — звукопоглощение и

звукоизоляция. Оба варианта показывают наилучшие результаты для высокочастотного звука. Это связано с тем, что звук низкой частоты имеет большую длину волны, что способствует дифракции, а, значит, звук может обходить препятствия. При использовании звукопоглотителей колебания воздуха, вызываемые низкочастотным звуком имеют меньшую частоту, а значит меньше энергии переходит в тепловую.

## 5. Предложенные варианты защиты

### Вариант 1. Стальная перегородка

В ходе выполнения работы получим, что для перегородок важна поверхностная масса. Рассмотрим стальную перегородку ( $\rho = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ) толщиной в 1 см.

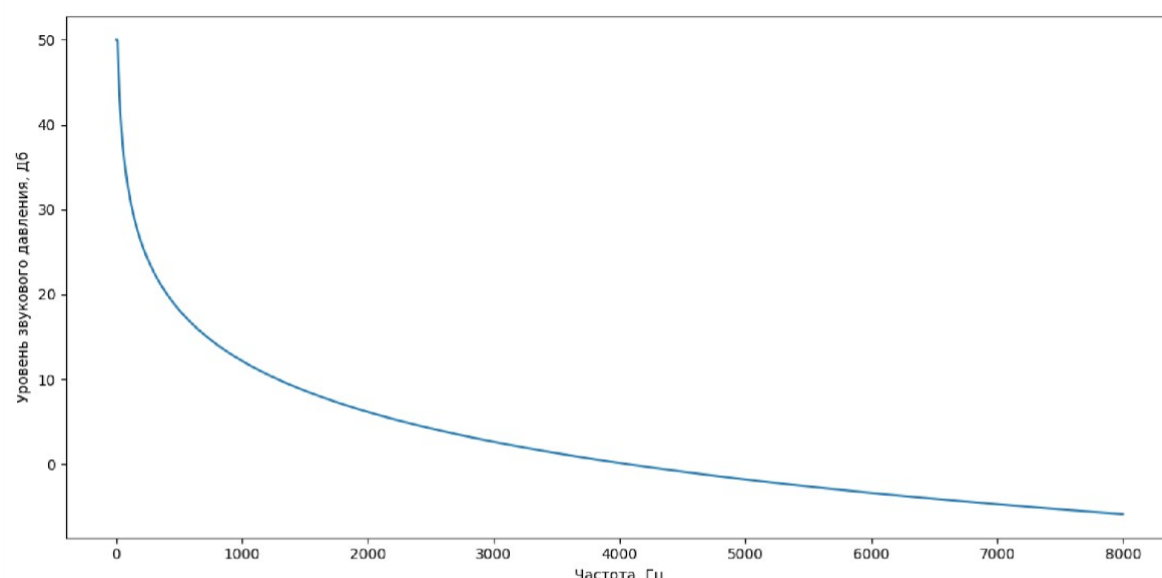


Здесь 1 – источник звука

2 – микрофон

3 – стальная перегородка

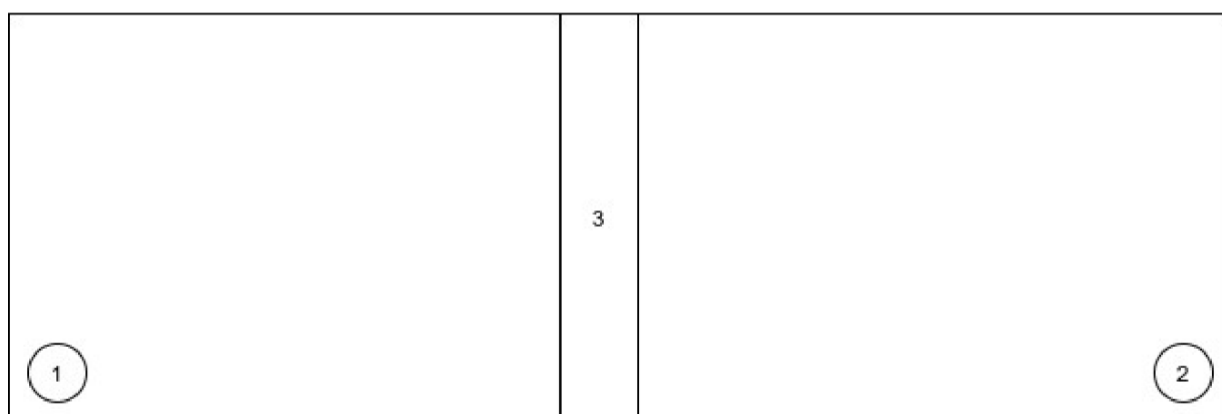
Тогда по формуле (1) получим уровни звукового давления для одинакового на всех частотах звука в 50 Дб:



Таким образом, данная конфигурация может быть использована для снижения уровня давления высокочастотного звука.

## Вариант 2. Использование стекла в экране с окном

Один из экранов, использованных в работе имеет «окно». В результате и теоретическая и экспериментальная звукоизоляция становится существенно хуже. В случаях, когда окно необходимо для выполнения каких либо работ, уменьшить данный эффект может вставка стекла. В качестве основы возьмем данные для экрана №2.



Здесь 1 – источник звука

2 – микрофон

3 –перегородка



1 – алюминиевая часть

2 – стеклянная часть

Снижение звукоизоляции в таком случае можно рассчитать как

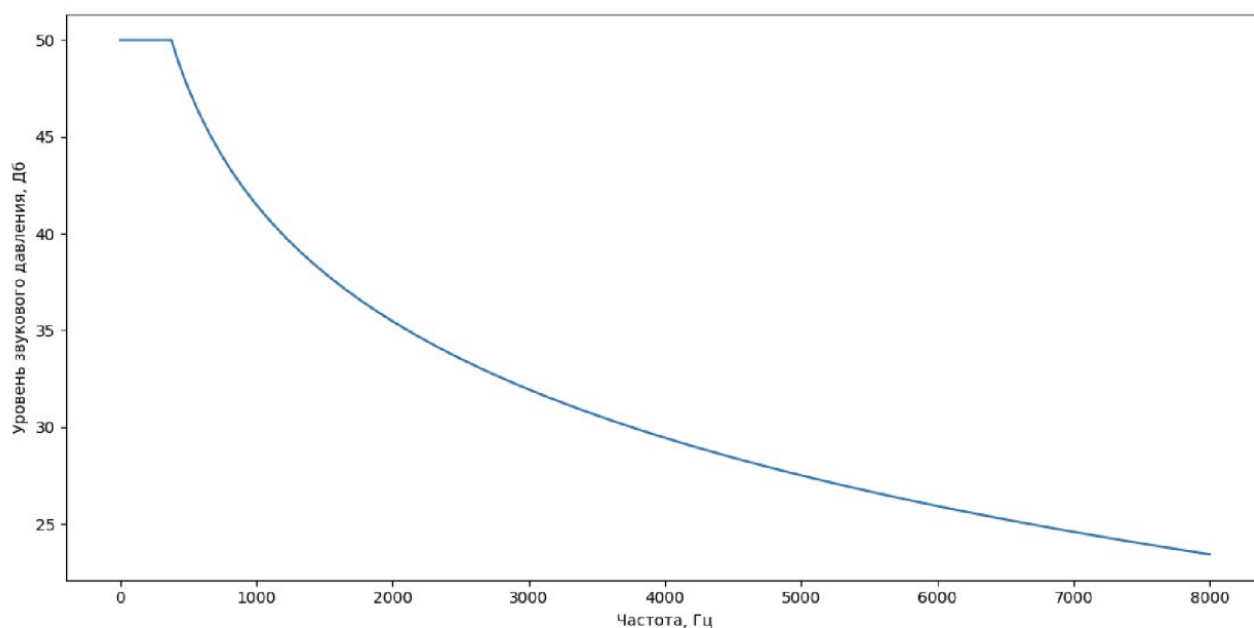
$$\Delta ZI_{\text{огр}} = 10 \lg \left[ 1 + \frac{S_o}{S_{\text{огр}}} (10^{0.1(ZI_{\text{огр}} - ZI_o)} - 1) \right], \quad S_o - \text{площадь, занимаемая окном}$$

$S_{\text{огр}}$  – площадь алюминиевой перегородки без окна

$ZI_o$  – звукоизоляция окна

$ZI_{\text{огр}}$  – звукоизоляция перегородки

В результате получаем, что в среднем изоляция ухудшится на 0.11 Дб



### Вариант 3. Утолщение кожуха

В случаях, когда необходимо снижение уровня звука на более низких частотах возможно увеличение толщины слоя пористого материала.

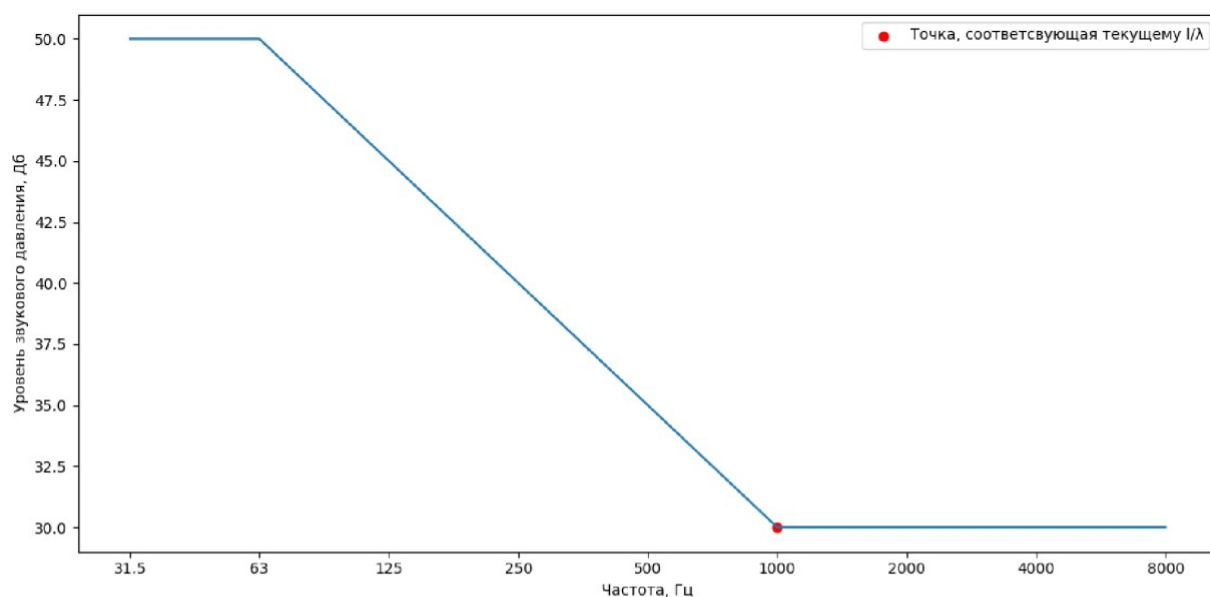


Здесь 1 – источник звука

2 – микрофон

3 – кожух

В таком случае, при увеличении толщины, результат на разных частотах может быть представлен в виде:



**Вывод:** Получили, что в различных ситуациях могут быть использованы различные способы звукоизоляции и звукопоглощения, позволяющие достичь желаемых уровней звука. При этом предложенные улучшения не дают прироста эффективности для низкочастотного шума, так как все рассмотренные средства не дают его существенного снижения.