

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)**  
**Кафедра БЖД**

**ОТЧЕТ**  
**по лабораторной работе №7**  
**по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности»**  
**Тема: Исследование параметров производственного шума и определение**  
**эффективности мероприятий по защите от него**

Студенты гр. 0362

\_\_\_\_\_

Красюков А.А.

\_\_\_\_\_

Шеин В.М.

\_\_\_\_\_

Циулин В.Т.

\_\_\_\_\_

Косенко А.В.

Преподаватель

\_\_\_\_\_

Борискина А.В.

Санкт-Петербург

2023

## **Цели работы:**

Исследование параметров производственного шума на соответствие требованиям санитарных норм и изучение основных принципов защиты от шума.

## **ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

**Звук** – это физическое явление, представляющее собой распространение в виде упругих волн механических колебаний в твёрдой, жидкой или газообразной среде.

**Шум** – беспорядочные колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью временной и спектральной структуры.

**Звуковая волна** вызывает изменение атмосферного давления. Разница между атмосферным давлением до и после прохождения через неё звуковой волны, называется звуковым давлением. Эта величина измеряется в Паскалях и обозначается буквой  $P$ . Самый тихий звук, который способно уловить человеческое ухо, называется порогом слышимости. Это значение отличается на разных частотах звуковой волны, к тому же играет роль индивидуальная чувствительность уха. В акустике используется вполне определённый показатель – порог слышимости на частоте 1000 Гц. Он составляет  $2 \cdot 10^{-5}$  Па (или 0,00002 Па). Этот показатель был определён на основе опытных данных при исследовании нескольких добровольцев методами аудиометрии.

**Порог слышимости** – это минимальная величина звукового давления, воспринимаемая человеческим ухом на частоте 1 000 Гц.

**Болевой порог** – это минимальная величина звукового давления, вызывающая болевые ощущения. Составляет она 200 Па.

**Производственный шум** – акустический шум, возникающий на рабочих местах и предприятиях вследствие производственного процесса, при работе машин, оборудования и инструментов. В охране труда шум

рассматривается с точки зрения влияния его на здоровье, как вредный производственный фактор.

**Допустимый уровень шума** – это уровень, который не вызывает у человека значительного беспокойства и существенных изменений показателей функционального состояния систем и анализаторов, чувствительных к шуму.

**Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума** – это уровень шума, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

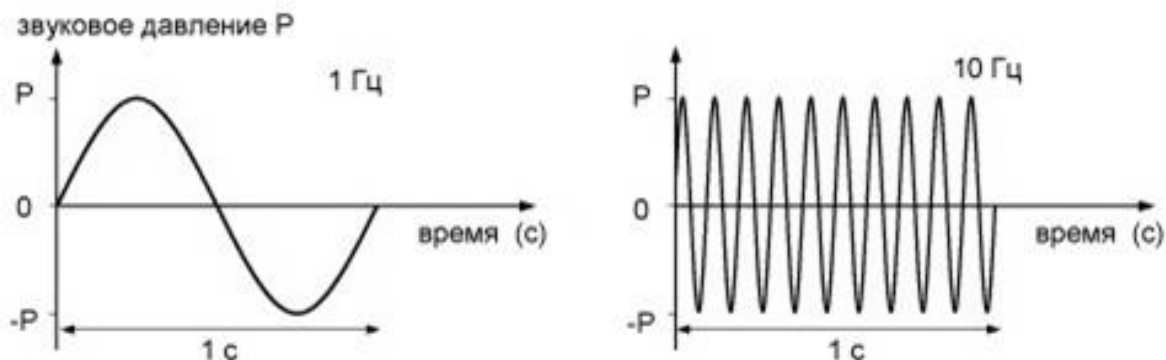
**Звуковое давление, Па** – переменная, составляющая давления воздуха или газа, возникающая в результате звуковых колебаний.

**Уровень звукового давления** – измеренное в логарифмических единицах значение звукового давления.

$$L = 20 \lg \frac{P}{P_0}, \quad (1)$$

где  $P$  – среднеквадратическое значение звукового давления, Па;  $P_0$  – опорное значение звукового давления, равное  $2 \cdot 10^{-5}$  Па.

Если представить шум в виде синусоиды, то её частотой мы будем называть количество колебаний звукового давления в секунду. Частота звука измеряется в Герцах (Гц).



Пример звуковых колебаний с частотой 1 и 10 Гц

**Октава** – это частотный интервал, в котором верхняя  $f_v$  и нижняя  $f_n$  граничные частоты отличаются в два раза ( $f_v / f_n = 2$ ). Определяющей для этих частотных интервалов является среднегеометрическая частота  $f_{cp}$ .

$$f_{cp} = \sqrt{f_v f_n} \quad (2)$$

**Звукопоглощение** – явление преобразования энергии звуковой волны во внутреннюю энергию среды материала, в которой распространяется волна.

**Звукоизоляция** – это снижение уровня шума, проникающего из одного объема в другой за счет отражения звука.

**Акустический экран** – это преграда ограниченных размеров с определенной звукоизолирующей способностью, устанавливаемая между источником шума и защищенным от шума местом.

Эффективность любого мероприятия по шумоглушению  $L_{\text{Э}}$ , дБ, определяется как:

$$L_{\text{Э}} = L_1 - L_2, \quad (3)$$

где  $L_1$  – уровень звукового давления в рабочей зоне до проведения мероприятия по шумоглушению;  $L_2$  – уровень звукового давления в рабочей зоне после проведения мероприятий по шумоглушению.

В качестве характеристики постоянного широкополосного шума принимается уровень звука  $L_A$ , дБА, измеренный на временной характеристике “медленного” шумомера, а непостоянного шума –

эквивалентный (по энергии) уровень звука,  $L_{A_{\text{ЭКВ}}}$ , определяемые, соответственно, по формулам:

$$L_A = 20 \lg \frac{p_A}{p_0}; L_{A_{\text{ЭКВ}}} = 10 \lg \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \left( \frac{p_A(\tau)}{p_0} \right)^2 d\tau$$

где  $p_A$  – среднеквадратическое значение звукового давления с учетом коррекции “А” шумомера.

## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ.

### 1. Поправка на шум

В виду того, что на месте снятия лабораторной работы присутствует шумовой фон, необходимо учесть поправку в измерениях. Для расчета поправки необходимо определить разность значений уровней звукового давления и уровня звука между источником шума и шумовым фоном. Исходя из разницы, следует применить поправку к более высокому уровню согласно таблице 1.

Таблица 1. Поправка на шумовой фон

Разность двух вычитаемых источников, дБ(дБА)	10	6-9	4-5	3	2	1
Поправка к более высокому уровню ( $\Delta$ ), дБ(дБА)	0	-1	-2	-3	-5	-7

В таблице 2 представлен протокол измерений с примененной к нему поправкой на шумовой фон.

Таблица 2. Результаты проведенных измерений с поправкой на шумовой фон.

Условия опыта и необходимые для обработки результаты	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и экв. ур. звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Шумовой фон	63,1	60,1	45,1	50,8	42,2	29,0	24,2	18,7	14,9	47,5
Источник шума без средств защиты	54,6	58,2	60,1	80,7	90,3	101,2	104,9	91,4	68,2	101,3
Предельно допустимые уровни звукового давления	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Кожух №1	52,6	72,1	67,9	65,1	77	94,9	90,2	75,7	52,2	97,7

Кожух №2	51,4	59,5	60,8	73	81,1	90,6	88,3	71,1	44,3	93
Экран №1	50,7	71,8	58	78,1	85,3	96,9	94,5	83,2	56,6	97,2
Экран №2	51	61,2	67,9	80,5	86,8	98	104,3	87,2	63,8	101,7
Экран №3	54,3	74,1	60,3	7868	85,8	96,7	94,8	83,1	57	97,1
Экран №4	51,2	70,4	63,2	79,5	85,5	96,7	95,5	84,8	57,6	98,3
Кожух №2 + Экран №1	50,2	71,4	57,7	65,2	72,2	83,7	84,4	62,3	37	87,3

## **2. Исследование зависимости параметров шумовой помехи и источника шума от частоты.**

В таблице 3 представлена вырезка из протокола наблюдений с измерениями шумового фона, источника шума без средств защиты и предельно допустимые уровни звукового давления.

Таблица 3. Результаты измерения шумовой помехи и источника шума

Условия опыта и необходимые для обработки результаты	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и экв. ур. звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Шумовой фон	63,1	60,1	45,1	50,8	42,2	29,0	24,2	18,7	14,9	47,5
Источник шума без средств защиты	54,6	58,2	60,1	80,7	90,3	101,2	104,9	91,4	68,2	101,3
Предельно допустимые уровни звукового давления	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Предельный спектр был выбран по таблице СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест». Исходя из данной таблицы был выбран ПС-75, так как вид трудовой деятельности (выполнение работ на рабочих местах в производственных помещениях) подходит под данную лабораторную работу.

На рис. 1 представлен график уровней звукового давления шумового фона, источника шума без средств защиты и ПДУ звукового давления в октавных полосах:



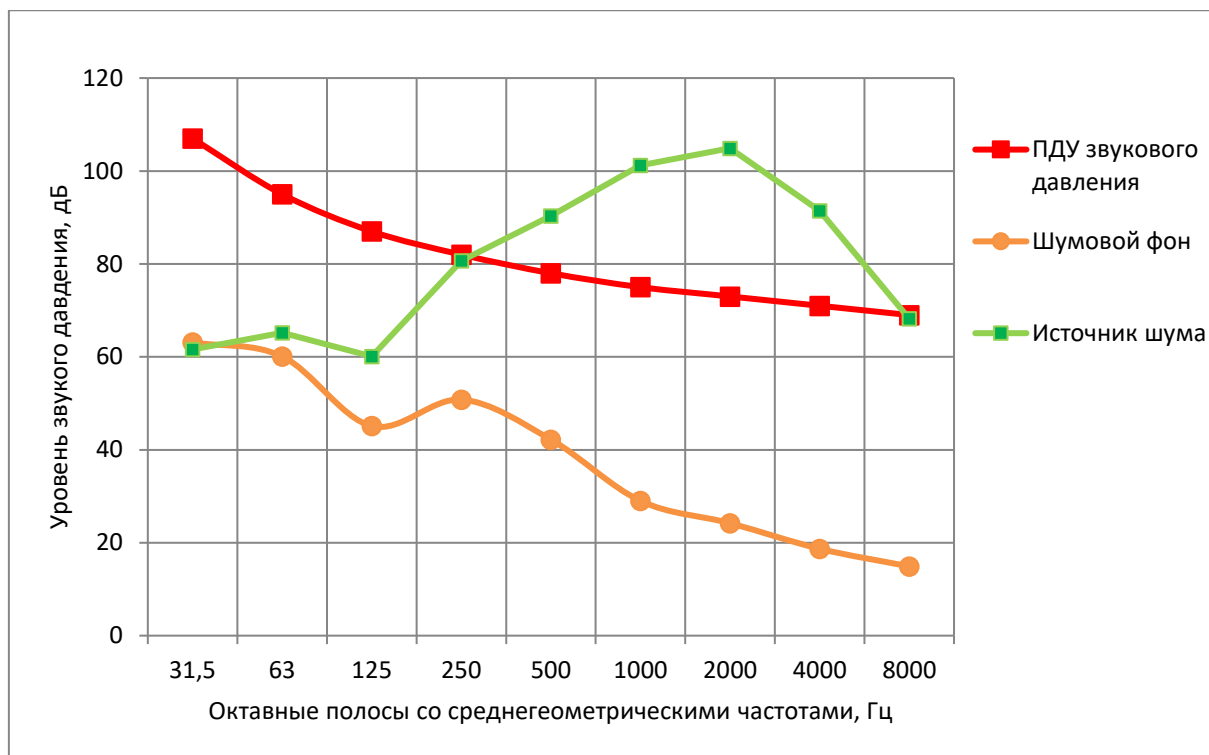


Рис. 1. Спектрограмма уровня звукового давления шумовой помехи и источника шума

Исходя из полученного результата на графике видно, что до включения источника шума уровень звука не превосходит значения предельно допустимых уровней звукового давления и уровня звука, однако при включенном источнике шума на частотах 500-4000 Гц наблюдается превышение ПДУ, что не является нормой. Таким образом есть необходимость использовать дополнительную защиту от шума.

Так же исходя из графика можно определить, что шумовой фон является низкочастотным, так как максимальный уровень давления лежит в диапазоне до 500 Гц, а источник шума является высокочастотным, так как максимальный уровень давления лежит в диапазоне от 1000 Гц.

### 3. Исследование средств защиты от шума при использовании кожухи 1 и кожухи 2.

В таблице 4 представлена вырезка из протокола наблюдений при использовании кожуха без звукопоглотителя и с использованием кожухи со звукопоглотителем.

Таблица 4. Результаты измерения с применением кожуха 1 и 2.

Условия опыта и необходимые для обработки результаты	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и экв. ур. звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Предельно допустимые уровни звукового давления	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Кожух №1	52,6	72,1	67,9	65,1	77	94,9	90,2	75,7	52,2	97,7
Кожух №2	51,4	59,5	60,8	73	81,1	90,6	88,3	71,1	44,3	93

На рис. 2 представлен график уровней звукового давления с использованием кожуха №1 и кожуха №2, а также ПДУ звукового давления в октавных полосах:

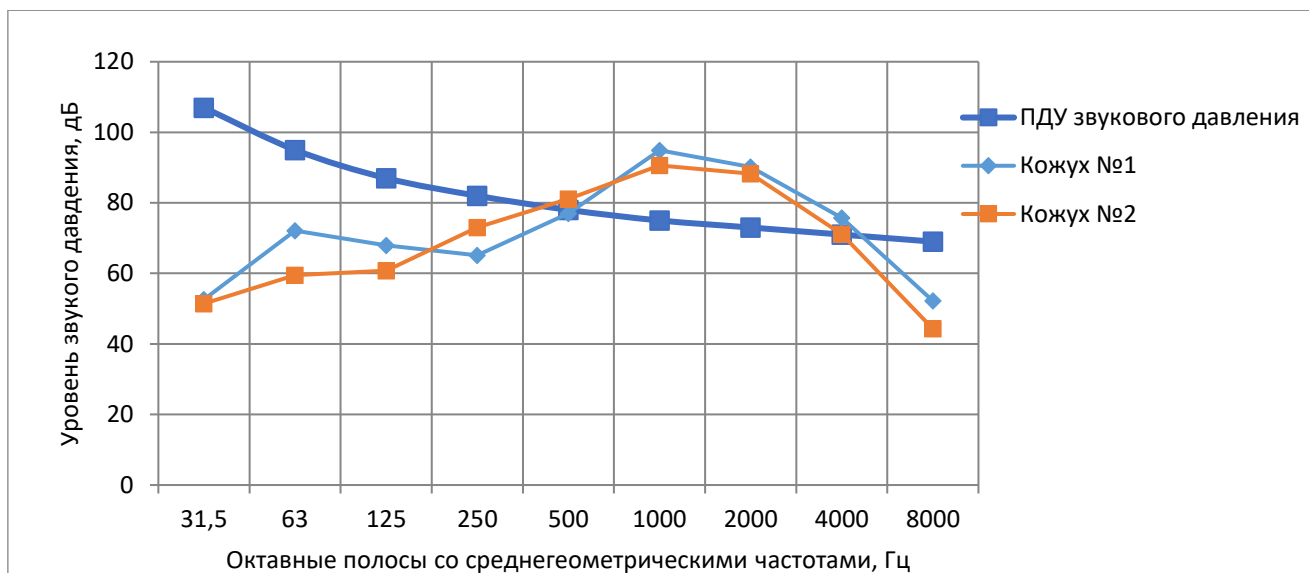


Рис. 2. Спектрограмма уровня звукового давления включенного источника шума с кожухом 1 и кожухом 2

Исходя из полученного результата на графике видно, что при включенном источнике шума с кожухом без звукопоглотителя на частотах 1000-4000 Гц наблюдается превышение ПДУ, а с кожухом со звукопоглотителем наблюдается превышение ПДУ на частотах 500-4000 Гц.

Для нахождения эффективности кожуха ( $L_3$ ) оценивается разностью уровней звуковых давлений, создаваемых в помещении до ( $L_1$ ) и после ( $L_2$ ) проведения мероприятий по звукоглушению (в данном случае накрывание источника звука кожухом):  $L_3 = L_1 - L_2$ .

Результаты данного измерения представлены в таблице 5.

Таблица 5. Эффективность кожухов

Условия опыта и необходимые для обработки результаты	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и экв. ур. звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Эффективность кожуха №1	2	-13,9	-7,8	15,6	13,3	6,3	14,7	15,7	16	3,6
Эффективность кожуха №2	3,2	-1,3	-0,7	7,7	9,2	10,6	16,6	20,3	23,9	8,3

На рисунке 3 показан график зависимости эффективности применения кожухов от частот:

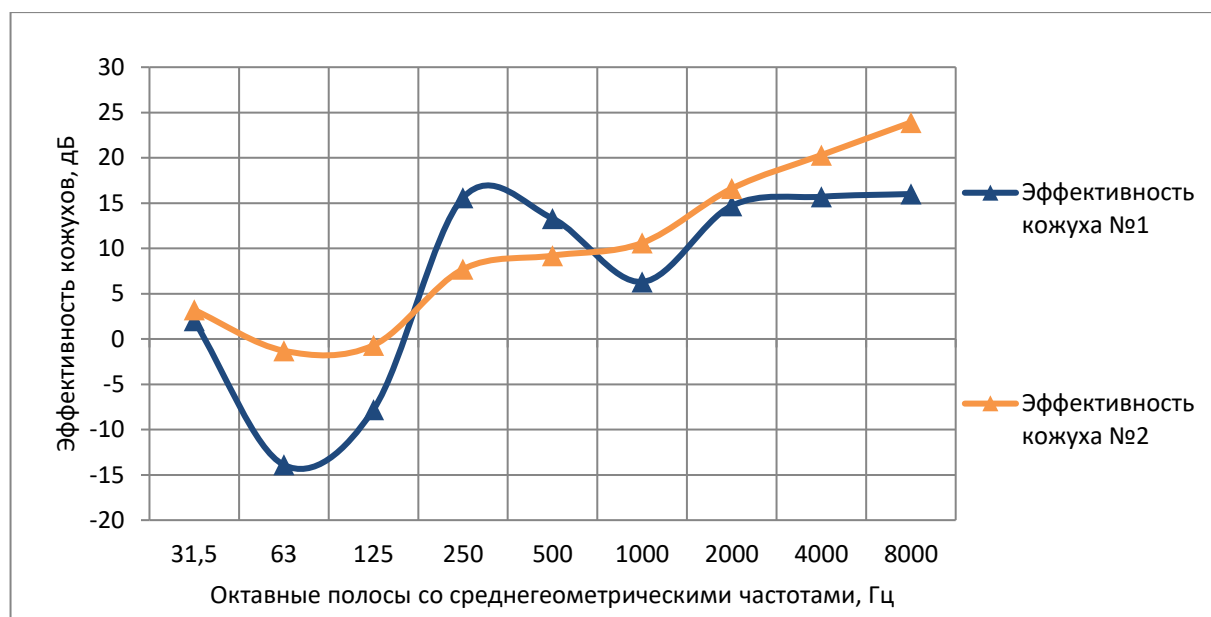


Рис. 3. График зависимости эффективности применения кожухов от частоты.

Из графика можно сделать вывод, что начиная с частоты 250 Гц. кожухи начинают снижать уровень звукового давления источника шума, однако снизить уровень шума ниже предельно допустимого не удалось. Также можно увидеть, что почти на всех октавах эффективность кожуха №2 выше, чем у кожуха №1. Это связано с тем, что кожух №1 является звукоизолирующим ограждением и рассчитан на то, чтобы не пропускать звук из одного объема в другой за счет отражения, в то время как кожух №2 помимо звукоизоляции, имеет дополнительный звукопоглощающий материал. Проходя через звукопоглощающий материал (поролон) звуковые волны начинают колебаться в порах вещества и часть звуковой энергии переходит в тепловую, т.к. колебания в таком веществе сопровождаются трением.

#### 4. Исследование средств защиты от шума при использовании экранов №1-№4.

В таблице 6 представлена вырезка из протокола наблюдений с измерениями при включенном уровне шума с использованием экранов №1-№4.

Таблица 6. Результаты измерения с применением экранов №1-№4.

Условия опыта и необходимые для обработки результаты	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и экв. ур. звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Экран №1(алюминий)	50,7	71,8	58	78,1	85,3	96,9	94,5	83,2	56,6	97,2
Экран №2(алюминий с окном)	51	61,2	67,9	80,5	86,8	98	104,3	87,2	63,8	101,7
Экран №3(ДВП)	54,3	74,1	60,3	78,8	85,8	96,7	94,8	83,1	57	97,1
Экран №4(сталь с вентиляционным отверстием)	51,2	70,4	63,2	79,5	85,5	96,7	95,5	84,8	57,6	98,3
Предельно допустимые уровни звукового давления	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Представим данные в таблице 8 графически на рис. 4:

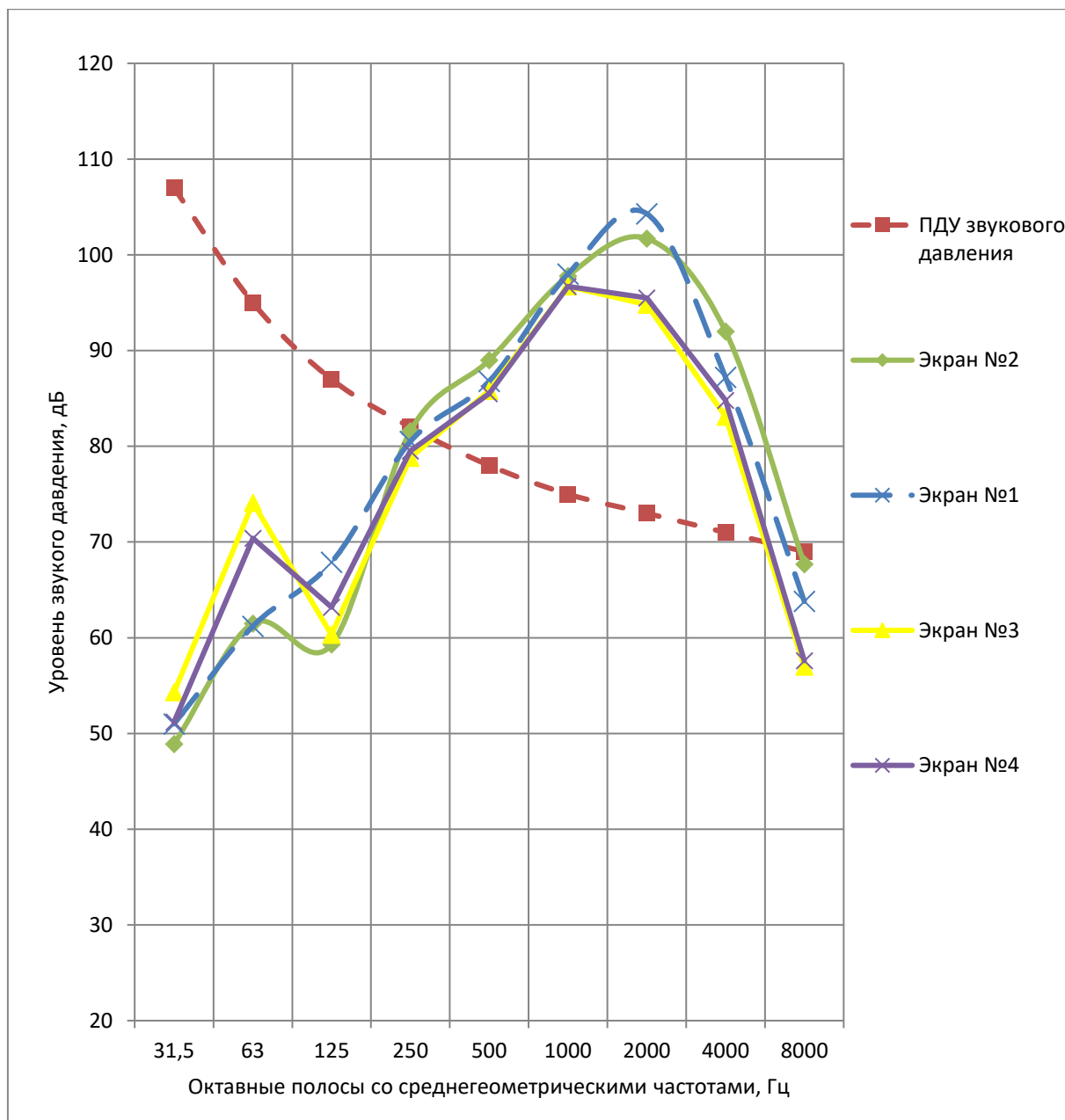


Рис. 4. Спектрограмма уровня звукового давления включенного источника шума с экранами №1-№4.

Рассчитаем эффективность экранов занеся результаты в таблицу 7.

Таблица 7. Эффективность экранов

Условия опыта и необходимые для обработки результаты	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и экв. ур. звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Эффективность экрана №1	3,9	-13,6	2,1	2,6	5	4,3	10,4	8,2	11,6	4,1

Эффективность экрана №2	3,6	-3	-7,8	0,2	3,5	3,2	0,6	4,2	4,4	-0,4
Эффективность экрана №3	0,3	-15,9	-0,2	1,9	4,5	4,5	10,1	8,3	11,2	4,2
Эффективность экрана №4	3,4	-12,2	-3,1	1,2	4,8	4,5	9,4	6,6	10,6	3

На рисунке 5 показан график зависимости эффективности применения экранов от частот:

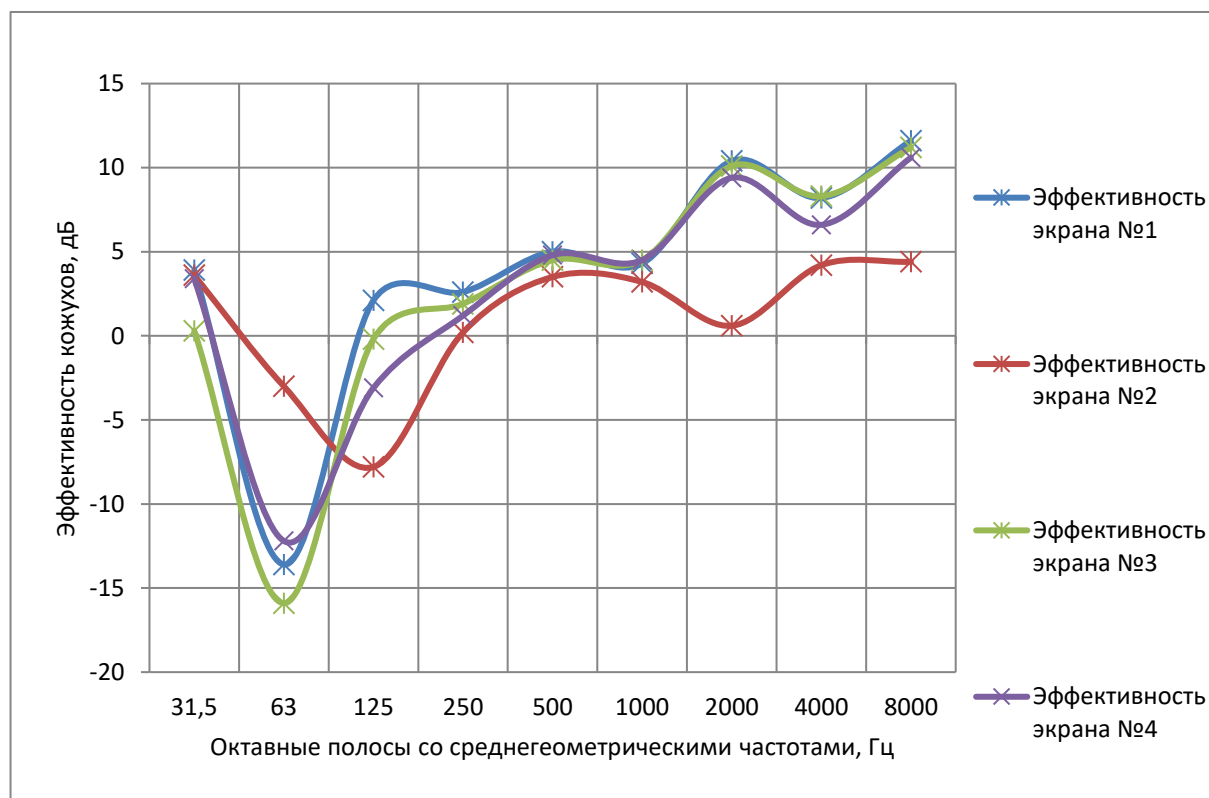


Рис. 5. График зависимости эффективности применения экранов от частоты.

Анализируя рисунок 5, можно заметить, что экраны также снижают уровень звукового давления от источника шума. Особенно выделяется экран №2, который оказался менее эффективным по сравнению с остальными. Это обусловлено наличием большого отверстия, и акустический эффект этого экрана связан с созданием зоны звуковой тени позади него. Этот экран оказался менее эффективным на низких частотах из-за явления дифракции, при котором звуковые волны изгибаются вокруг экрана.

Экраны под номерами 1, 3 и 4 представляют собой перегородки, и их цель - предотвратить прохождение звука через отражение. Все эти перегородки показали схожие уровни звукового давления. Тем не менее, наилучшую эффективность проявила перегородка из цельного алюминиевого листа, так как для вызывания колебаний внутри более тяжелой перегородки требуется больше энергии звуковой волны.

Наихудшей из перегородок оказалась перегородка №4, которая теряет эффективность на высоких частотах из-за того, что на высоких частотах длина звуковой волны становится меньше ширины отверстия, и звуковая волна начинает проходить сквозь него свободно.

Использование экранов не позволило снизить уровень шума ниже предельно допустимого значения.



## 5. Источник шума с кожухом №2 и экраном №1

В рамках выполнения данной лабораторной работы наилучшие показатели эффективности имеют кожух №2 со звукопоглотителем и экран №1 из алюминиевого листа. Применим данные методы защиты одновременно и запишем результаты в таблицу 8.

Таблица 8. Результаты измерения с применением экрана №1 и кожуха №2.

Условия опыта и необходимые для обработки результаты	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и экв. ур. звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Предельно допустимые уровни звукового давления	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Кожух №2 + Экран №1	50,2	71,4	57,7	65,2	72,2	83,7	84,4	62,3	37	87,3

На рисунке 6. представлен график уровней звукового давления включенного источника шума совместно экрана №1 и кожуха №2, а также ПДУ звукового давления для сравнения.

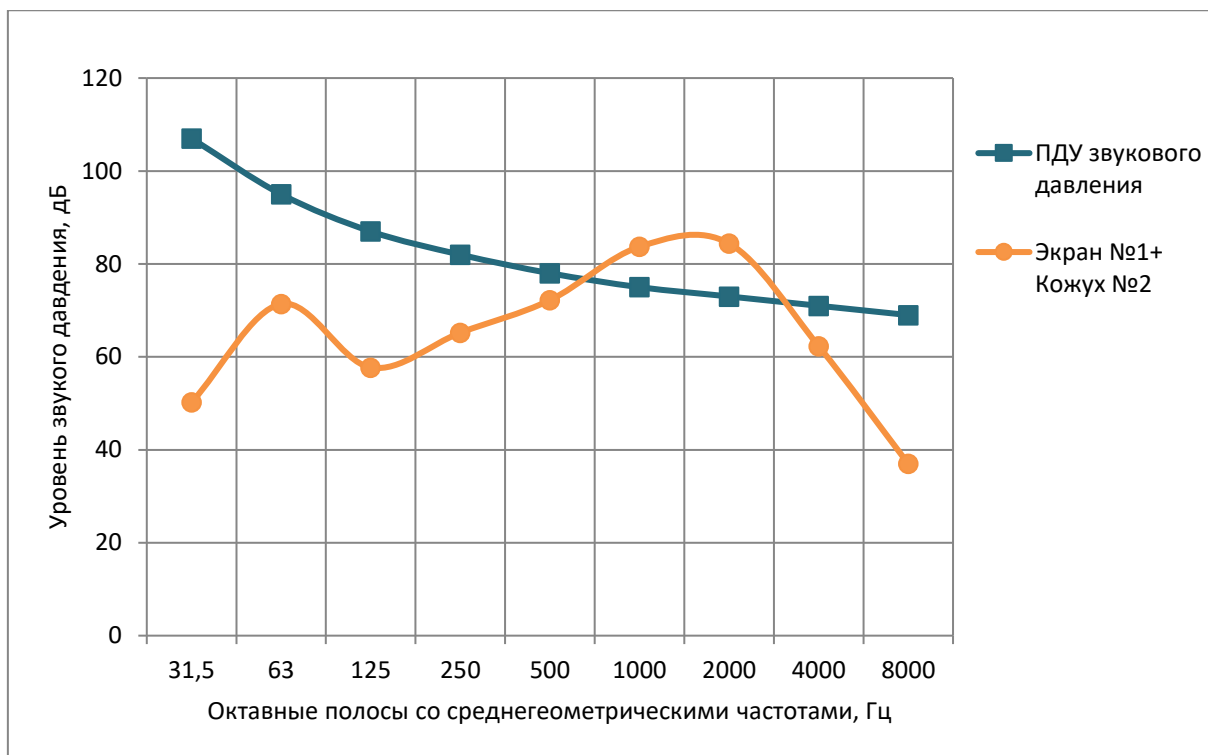


Рис. 6. Спектрограмма уровня звукового давления включенного источника шума с кожухом и экраном.

Исходя из графика, можно сделать вывод, что комбинированное средство защиты является наиболее эффективным из всех использованных, однако, хоть пик и значительно уменьшился, и сузился до диапазона средних частот, данного метода все равно недостаточно чтобы убрать превышение ПДУ звукового давления.

Отметим, что данная комбинация позволяет добиться эффективности на низких частотах из-за отсутствия эффекта дифракции, которому подвержен экран, а на высоких частотах – благодаря наличию звукопоглощающего пористого материала.

## ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

В ходе исследования параметров производственного шума и эффективности мероприятий по его снижению были получены следующие результаты:

Кожухи действительно способны снижать уровень звукового давления от источника шума. Однако, сравнивая различные типы кожухов, можно отметить, что кожух №1, не оборудованный звукопоглощающим материалом, показал более высокий уровень звукового давления по сравнению с кожухом №2, который включал в себя дополнительный звукопоглощающий материал. При этом звукопоглощающий материал, такой как поролон, позволяет части звуковой энергии преобразовываться в тепловую энергию в результате колебаний в материале, что способствует снижению уровня шума. На низких частотах, эффективность кожуха с звукопоглощающим материалом оказывается менее значительной, так как важно соотношение длины звуковой волны и размеров материала. На низких частотах, где длина волны больше, это соотношение уменьшается, что снижает эффективность защиты.

В отношении экранов, можно выделить экран №2, который оказался менее эффективным по сравнению с остальными. Эффективность этого экрана снижается из-за большого отверстия, которое приводит к образованию зоны звуковой тени за экраном. Особенно на малых частотах звуковые волны огибают экран, что является проявлением явления дифракции.

Экраны с номерами 1, 3 и 4 действуют как перегородки с целью отражения звука и не пропускать его. Все эти перегородки показали схожие уровни звукового давления. Исключением является перегородка из цельного листа алюминия, которая показала лучшую эффективность, так как более тяжелая конструкция требует больше энергии для вызывания колебаний звуковой волны.

Наихудшей из перегородок оказалась перегородка №4, которая теряет в эффективности на высоких частотах из-за того, что длина волны на высоких частотах становится меньше ширины отверстия, и звуковая волна проходит сквозь него.

Важно отметить, что несмотря на использование кожухов и экранов, уровень шума так и не был снижен ниже предельно допустимого значения.

В результате анализа эффективности различных методов защиты, самым эффективным методом оказалось сочетание звукоизолирующего кожуха с звукопоглощающим материалом и алюминиевого экрана. Однако даже при использовании этой комбинации не удалось довести уровень шума на частотах до 3000 Гц ниже предельно допустимого значения.