

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Р.Е.Алексеева»

Кафедра «Производственная безопасность, экология и химия»

Защита от шума

Учебно – методическое пособие
к выполнению лабораторной работы по дисциплине
«Безопасность жизнедеятельности»
для студентов всех направлений подготовки и форм обучения

Нижний Новгород 2020

Составители: А.Б. Елькин, И.В. Гейко, М.Н. Ребрушкин

УДК 628.517.2

Защита от шума: учебно - метод. пособие к выполнению лаб. работы по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех направлений подготовки и форм обучения / НГТУ им. Р.Е. Алексеева; сост.: А.Б. Елькин, И.В. Гейко, М.Н. Ребрушкин – Н. Новгород, 2020. – 14 с.

В методических указаниях изложены краткие сведения из теории, методика измерения шума, способы снижения шума на пути распространения и порядок оценки эффективности звукоизоляции и звукопоглощения.

Редактор Э.Б. Абросимова

Подп. к печ. 15.10.2020 Формат 60x80¹/16. Бумага газетная.
Печать офсетная. Печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ

Нижегородский государственный технический университет.
Типография НГТУ. 603950, Н. Новгород, ул. Минина, 24.

© Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е.Алексеева, 2020

1. Цель работы: ознакомить студентов с физической сущностью производственного шума, приборами для измерения шума, нормативными требованиями к шуму и эффективностью средств по защите от шума.

2. Теоретическая часть

2.1. Физические характеристики шума

Шум – это совокупность звуков различной интенсивности и частоты. Звук представляет собой упругие колебания, распространяющиеся волнообразно в твердой, жидкой или газообразной среде. Скорость звука в воздухе составляет 340 м/с, в жидкости – 1500 м/с, в металлах – 5000 м/с. Звуковые волны характеризуются длиной волны λ , м, связанной с частотой звука f , Гц соотношением

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

где c – скорость звука, м/с.

В диапазоне частот 16 Гц – 20 Гц, в котором колебания воспринимаются ухом человека как звук, волны называют звуковыми. Колебания с частотами ниже 16 Гц называют инфразвуком, выше 20 кГц – ультразвуком.

При распространении звуковой волны происходит изменение состояния среды, которое характеризуется звуковым давлением (P), т.е. разностью между значением полного давления и средним статистическим давлением, которое наблюдается в воздухе при отсутствии звука. Звуковое давление, изменяющееся во времени от нуля до максимальной величины, оценивают не мгновенной величиной, а среднеквадратичным значением за период колебания (P^2). Звуковое давление представляет собой силу, действующую на единицу поверхности. Единица измерения звукового давления – паскаль ($1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$).

Органы слуха реагируют не на абсолютное значение звукового давления, а на его изменение во времени, поэтому для оценки воздействия шума на человека используются уровни звукового давления L , измеряемые в децибелах (дБ).

Уровень звукового давления определяется по формуле

$$L = 10 \cdot \lg \left(\frac{P^2}{P_0^2} \right) = 20 \cdot \lg \left(\frac{P}{P_0} \right),$$

где P - звуковое давление, Па; P_0 - пороговое звуковое давление, равное $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Слуховой аппарат человека обладает неодинаковой чувствительностью к звукам различных частот: наибольшей чувствительностью к звукам

средних и высоких частот от 800 до 4000 Гц, а наименьшей – к звукам низких частот

20 – 100 Гц.

Эффективность различных средств по снижению шума также зависит от частоты звука, увеличиваясь на высоких частотах.

В связи с этим при контроле и исследовании шума используются спектры уровней звукового давления, для чего воспринимаемый диапазон звуков разбивают на стандартные полосы частот с постоянной относительной шириной. В качестве стандартных полос чаще всего используются октавные полосы, у которых отношение верхней частоты f_2 к нижней f_1 имеет вид $f_2 / f_1 = 2$. Октавные полосы обозначаются среднегеометрической частотой $f_{сг} = (f_1 \cdot f_2)^{1/2}$.

Шумоизмерительные приборы оснащаются октавными фильтрами, позволяющими производить измерения уровней звукового давления в октавных полосах частот со среднегеометрическими значениями 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 Гц.

Для ориентировочной оценки шума используется скорректированный по частоте уровень звукового давления, называемый уровнем звука L_A , дБА, который измеряется шумомером на частотной характеристике А, приближенно соответствующей восприятию шума человеческим ухом.

Таблица 1. Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для некоторых видов трудовой деятельности и рабочих мест

№, п/п	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц.									Уровни звука и эквивалентные уровни звука(дБА)
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	Творческая деятельность, конструирование и проектирование, программирование, обучение. Рабочие места в проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов, в лабораториях для теоретических работ	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2	Высококвалифицированная, административно- управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории; рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в конторских помещениях, в лабораториях	93	79	70	68	58	55	52	52	49	60
3	На постоянных рабочих местах в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Допустимые уровни звукового давления и уровни звука установлены СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданиях и на территории жилой застройки», а также СанПиН 2.2.4.3359-2016 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» в зависимости от вида трудовой деятельности. В качестве примера в табл. 1 для некоторых рабочих мест и видов трудовой деятельности приведены допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот (предельные спектры), применяемые для нормирования постоянного широкополосного шума, а также допустимые уровни звука, применяемые для непостоянного шума.

2.2. Звукоизоляция

Одним из наиболее эффективных способов снижения шума на пути распространения звука является звукоизоляция. Звукоизоляция – способность преград отражать звуковую энергию. В качестве звукоизолирующих преград используются ограждения, кожухи и экраны.

Звукоизолирующая способность преграды r (коэффициент звукоизоляции) равна отношению интенсивности звука I_{11} , падающего на преграду, к интенсивности звука I_{21} , прошедшего через преграду

$$r = I_{11} / I_{21} = 1/\tau.$$

Коэффициент прохождения τ связан с коэффициентом рассеивания δ и с коэффициентом отражения ε соотношением, выражающим закон сохранения энергии:

$$\delta + \varepsilon + \tau = 1.$$

Звукоизоляция преграды R в дБ определяется выражением:

$$R = 10 \lg r = 10 \lg (1 / (1 - \varepsilon - \delta)),$$

которое показывает, что эффективность звукоизоляции обусловлена как отражением потока звуковой энергии от преграды, так и поглощением звуковой энергии в этой преграде.

Изоляция воздушного звука зависит в первую очередь от плотности применяемого в конструкции материала ρ , его модуля упругости E и коэффициента внутренних потерь η . Основными звукоизолирующими материалами являются: алюминиевые сплавы, асбокартон, бетон, гетинакс, органическое стекло, сталь, силикатное стекло, стеклопластик и др.

По конструктивному исполнению различают однослойные и многослойные звукоизолирующие конструкции (рис.1).

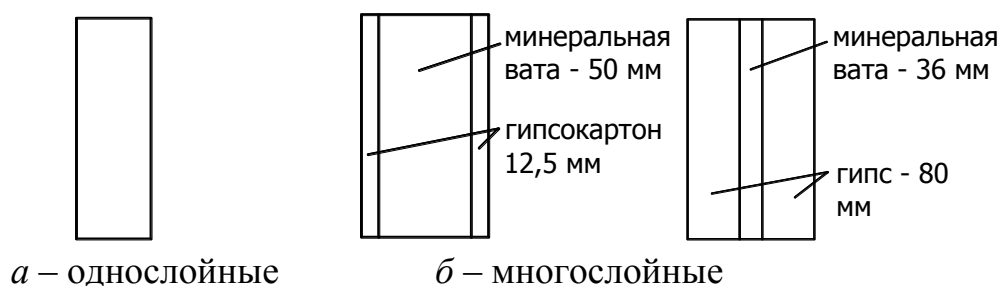


Рис. 1. Примеры звукоизолирующих конструкций

При использовании многослойной конструкции можно добиться более высокой звукоизоляции, чем у однослойной стены равной массы. Характеристика звукоизоляции R некоторых звукоизолирующих конструкций приведена в табл. 2.

Таблица 2. Звукоизоляция (R) строительных конструкций, дБ в октавных полосах частот

Конструкция	Октавные полосы частот, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Кирпичная кладка:								
$\delta = 125$ мм	30	36	37	40	46	54	57	59
$\delta = 255$ мм	34	41	45	48	56	65	69	72
Стеклоблок, $\delta = 200$ мм	25	30	35	40	49	49	43	45
ДСП, $\delta = 19$ мм	14	17	18	25	30	26	32	38
Фанера, $\delta = 6$ мм	6	9	13	16	21	27	29	33
Двери:								
- фанерная с обрешеткой $\delta = 43$ мм	9	12	13	14	16	18	24	36
- сплошной массив дерева $\delta = 43$ мм	13	17	21	26	29	31	34	32

2.3. Звукопоглощение

Под звукопоглощением понимают снижение интенсивности отраженных волн за счет преобразования звуковой энергии в тепловую с помощью акустической обработки внутренней поверхности помещений звукопоглощающим материалом.

В качестве звукопоглощающих материалов применяются облицовки из жестких однородных пористых материалов, облицовки с перфорированным покрытием и в защитных оболочках из ткани или пленки, объемные элементы различных форм. Звукопоглощающие материалы являются по своей структуре пористыми, механизм поглощения заключается в превращении энергии звуковой волны в тепловую энергию за счет вязкого

трения в капиллярах пор или необратимых потерь при деформациях упругого скелета.

Характеристикой звукопоглощающей облицовки является средний коэффициент звукопоглощения ограждающих помещение поверхностей α_1 , определяемый по формуле

$$\alpha_1 = [\alpha_0 (S_{\text{огр}} - S_{\text{обл}}) + \Delta A] / S_{\text{огр}};$$

$$\Delta A = \alpha_{\text{обл}} S_{\text{обл}},$$

где α_0 - средний коэффициент звукопоглощения ограждающих поверхностей помещения до устройства звукопоглощающих облицовок; $S_{\text{огр}}$ - общая площадь ограждающих конструкций помещения, м^2 ; $S_{\text{обл}}$ - площадь, занятая звукопоглощающей облицовкой, м^2 ; ΔA - величина звукопоглощения звукопоглощающей облицовкой, м^2 ; $\alpha_{\text{обл}}$ - реверберационный коэффициент звукопоглощения облицовки в октавной полосе частот.

Величина снижения уровня звукового давления в каждой октавной полосе за счет звукопоглощающих конструкций в зоне отраженного звука определяется по формуле

$$\Delta L = 10 \lg B_1 \Psi / B \Psi_1,$$

где B и B_1 - постоянные помещения до и после акустической обработки, м^2 ; Ψ и Ψ_1 - коэффициенты, учитывающие нарушение диффузности звукового поля в помещении до и после акустической обработки.

Постоянная помещения B определяется для каждой октавной полосы частот

$$B = B_{1000} \mu,$$

где B_{1000} - постоянная помещения на частоте 1000 Гц, определяемая в зависимости от объема помещения V , м^3 :

$$B_{1000} = V / 1,5 \quad \text{при } V < 200 \text{ м}^3;$$

μ - частотный множитель, определяемый по табл.3.

Таблица 3. Значение частотного множителя

$f_{\text{ср}}$	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
μ	0,8	0,75	0,7	0,8	1,0	1,4	1,8	2,5

Постоянная помещения B_1 определяется по формуле

$$B_1 = \alpha_{\text{обл}} S_{\text{обл}} / (1 - \alpha_{\text{обл}}).$$

На эффективность звукопоглощающих облицовок влияет площадь, высота и конфигурация помещений. Облицовка более эффективна при относительно небольшой высоте (4 - 6 м). В низких помещениях облицовывают потолок, в высоких и вытянутых - стены помещения.

Снижение уровней звукового давления за счет применения звукопоглощающих конструкций в отраженном поле не превышает 10 - 12 дБ, а на рабочих местах 4 - 5 дБ.

Если требуемое снижение шума выше указанных значений, то для снижения уровня звукового давления, помимо звукопоглощающих конструкций, предусматриваются и другие средства защиты от шума, например, звукоизоляция, кожухи или экраны.

Для достижения максимального поглощения рекомендуется облицовка не менее 60% общей площади поверхностей помещения.

Для акустической обработки помещений в настоящее время применяются облицовки из звукопоглощающих элементов, выполненные из материалов типа «Акмигран», ПА/С, ПА/О и др., а также в виде съемных кассет из перфорированных (металлических, асбоцементных, гипсовых) покрытий со звукопоглощающими слоями из ультратонкого стеклянного и базальтового волокон или минераловатных плит различных модификаций (рис.2).

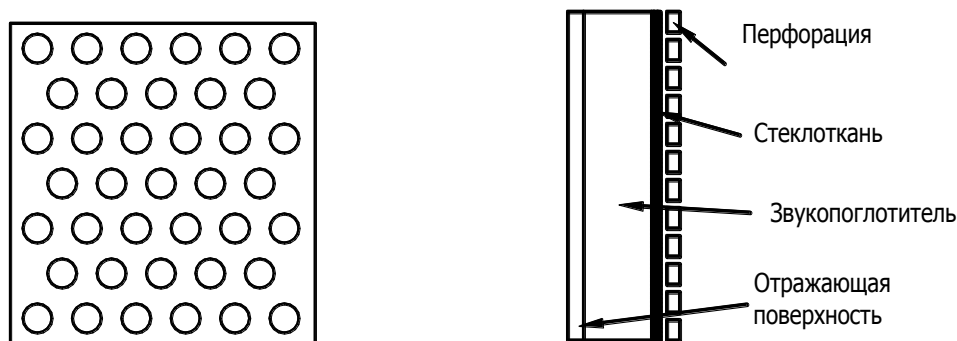


Рис. 2. Плоский звукопоглощающий элемент

Конструктивные элементы этой группы характеризуются коэффициентами звукопоглощения не более 0,8 - 0,9, а с учетом ограниченности занимаемой ими площади в помещении средний коэффициент звукопоглощения в большинстве случаев не превышает 0,5.

Коэффициент звукопоглощения плоского элемента зависит от частоты звука и толщины слоя звукопоглощающего материала.

Значения коэффициентов звукопоглощения различных материалов приведены в табл. 4.

Таблица 4. Реверберационные коэффициенты звукопоглощения α

Материал	Толщина, мм	Октавные полосы частот, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Плита ПА/О минераловатная	20	0,02	0,03	0,17	0,68	0,98	0,86	0,45	0,2
Плита ПА/С минераловатная	20	0,02	0,05	0,21	0,66	0,91	0,95	0,89	0,7
Минераловатная плита ПП-80	60	0,10	0,31	0,70	0,95	0,69	0,59	0,50	0,30
Супертонкое стекловолокно	100	0,90	0,66	1,00	1,00	1,00	0,96	0,70	0,55

3. Описание лабораторного стенда

Стенд представляет собой макет производственного помещения, который содержит четыре стационарные стены, пол и откидную крышку – потолок. Передняя стенка макета имеет два смотровых окна. Макет состоит из двух камер, имитирующих производственные помещения (рис. 3). В левой камере размещен макет козлового крана и источник шума (динамик), который находится под «полом» и защищен решеткой.

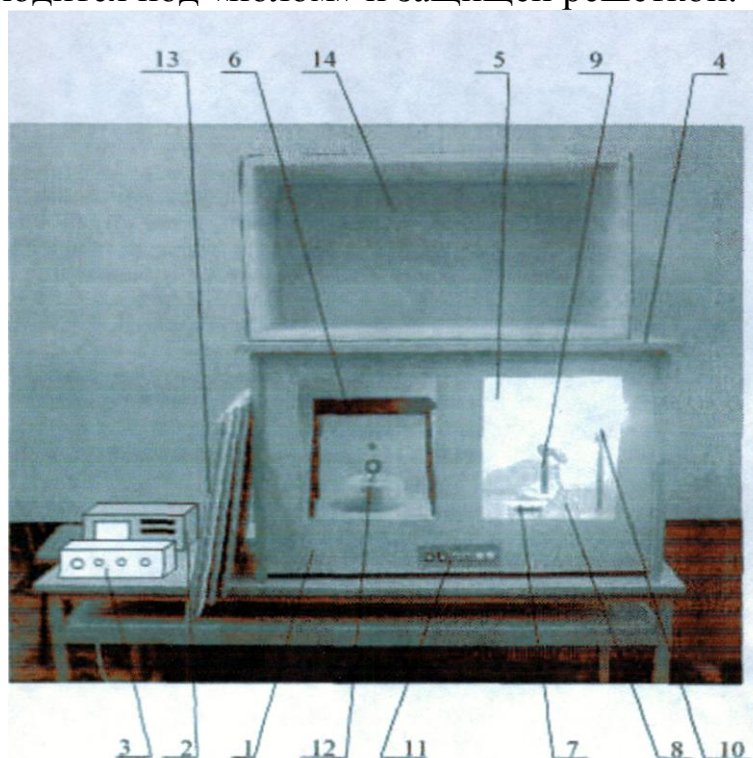


Рис. 3. Вид лабораторного стенда:

1 – макет производственного помещения; 2 – измеритель шума ВШВ-003-М2; 3 – генератор шума ГФ-1; 4 – крышка-потолок; 5 – смотровое окно; 6 – козловой кран; 7 – стол; 8 – кульман; 9 – микрофон; 10 – лампа; 11 – панель управления; 12 – звукоизолирующий кожух; 13 – звукоизолирующие перегородки (сменные); 14 – звукопоглощающий короб.

В правой камере расположены макеты конструкторского бюро: стол и кульман, а также микрофон на подставке из комплекта измерителя шума ВШВ-003-М2.

Конструкция макета позволяет устанавливать между двумя камерами звукоизолирующую перегородку. В лабораторной работе используются перегородки, изготовленные из фанеры, картона гофрированного, ДСП, оргалита и винипласта.

В качестве средства звукопоглощения используется короб звукопоглощающий, выполненный из гофрированного картона, облицованного изнутри звукопоглощающим материалом (пенополиуретаном), который помещается внутрь макета (при снятой перегородке).

Источник шума (динамик) может быть закрыт звукоизолирующим кожухом, который представляет собой полый корпус из прозрачного полимерного материала с массивной металлической втулкой для создания дополнительной массы, обеспечивающей герметичное прилегание кожуха к основанию.

В качестве источника шума в лабораторной работе используется генератор сигналов ГФ-1, позволяющий издавать звуки разной частоты и амплитуды.

Измерение шума производится с помощью шумомера ВШВ-003-М2. Включение прибора производится с помощью переключателя «Род работы», который устанавливается в положение «S» (медленно). Переключатели «Делитель dB1» и «Делитель dB2» устанавливаются в положение 50 и 40 соответственно.

Переключатель «Фильтры» в положение «ЛИН».

Для измерения шума в октавных положениях частот сначала необходимо установить чувствительность прибора, поэтому измерения начинают на частотной характеристике «ЛИН». Если при измерении стрелка показывающего прибора находится в начале нижней шкалы (dB), то она выводится в положение от 0 до 10 дБ сначала переключателем dB2, а затем, при необходимости, делителем dB1. Положение стрелки прибора в диапазоне от 0 до 10 дБ означает, что чувствительность прибора соответствует уровню подаваемых звуковых сигналов.

Результат измерения уровня звукового давления в октавной полосе частот определяется путем сложения показаний делителя dB1 и dB2 (по показаниям индикатора) плюс показания шкалы децибел.

Измерение скорректированного по частоте уровня звука L_A в дБА производится в положении «А» переключателя «Фильтры». Результат измерения считывается аналогично: сумма делителей dB1, dB2 плюс показание шкалы децибел.

4. Меры безопасности

При выполнении лабораторной работы источником опасности является напряжение электрической сети 220 В, к которой подключается звуковой генератор и измеритель шума ВШВ-003-М2. К работе допускаются лица, ознакомленные с устройством стенда.

Запрещается пользоваться приборами при наличии открытых токоведущих частей, при повреждении изоляции, самостоятельно производить ремонтные работы, одновременно прикасаться к корпусам электрических приборов с одной стороны и к металлическим заземленным предметам с другой стороны. Работы выполнять в соответствии с описанием, приведенным в разделе 5.

5. Порядок выполнения лабораторной работы

Снять и убрать с макета все средства звукоизоляции и звукопоглощения (перегородку, кожух и звукопоглощающий короб). Установить микрофон на подставке в правой камере макета.

Включить генератор сигналов ГФ-1 с помощью тумблера, расположенного на задней стенке прибора. Подать от генератора на динамик сигнал частотой 63 Гц. Настройка частоты звуковых сигналов производится с помощью поворотной ручки (частота, Гц.) и переключателя генератора сигналов с множителями 1, 10, и 100.

Включить измеритель шума ВШВ-003 М2 с помощью переключателя «Род работы», установив его в положение «S» (медленно). Переключатель «Фильтры» установить в положение «ЛИН». Произвести измерение уровня звукового давления при частоте звука 63 Гц. При этом уровень звукового давления показываемый измерительным прибором в положении «ЛИН» должен быть приблизительно 60 дБ. Регулировка уровня звукового давления производится с помощью поворотной ручки «Амплитуда» на генераторе звуковых сигналов. При этом показания уровня звукового давления определяются путем сложения положения делителя dB1 с положением делителя dB2 и значения децибел (dB) на нижней шкале прибора. Для установки стрелки показывающего прибора в положение 0-10 dB необходимо изменять чувствительность прибора сначала делителем dB2, а при необходимости – делителем dB1.

Произвести измерения уровней звукового давления в октавных полосах частот 63, 125, 250, 500 Гц. Результаты записать в табл. 5 в строку при отсутствии средств защиты (это исходный уровень шума, амплитуду звуковых сигналов не изменять). Отключить генератор шума от сети с помощью выключателя на задней панели прибора.

Установить звукоизолирующую перегородку (из материала по заданию преподавателя), включить генератор звуковых сигналов и произвести аналогичные измерения в октавных полосах частот, не изменяя заданную амплитуду сигналов. Результаты записать в табл. 5.

Определить изменение уровня звукового давления в октавных полосах частот после применения средств звукоизоляции (перегородки) по формуле:

$$\Delta L_3 = L - L_3,$$

где L – исходный уровень звукового давления, дБ;

L_3 – уровень звукового давления с применением звукоизоляции, дБ.

Отключить генератор шума от сети с помощью выключателя на задней панели прибора. Убрать с макета звукоизолирующую перегородку. Установить звукопоглощающий короб внутрь макета, включить генератор звуковых сигналов и произвести аналогичные измерения в октавных полосах частот, не изменяя заданную амплитуду сигналов. Результаты записать в табл. 5.

Определить снижение шума по формуле

$$\Delta L_n = L - L_n,$$

где L_n – уровень звукового давления с применением звукопоглощения.

Результаты записать в табл. 5.

Отключить генератор шума от сети с помощью выключателя на задней панели прибора. Убрать с макета звукопоглощающий короб. Накрыть источник шума звукоизолирующим кожухом. Включить генератор звуковых сигналов и произвести аналогичные измерения в октавных полосах частот, не изменяя заданную амплитуду сигналов. Результаты записать в табл. 5.

Оценить снижение шума по формуле

$$\Delta L_k = L - L_k,$$

где L_k – уровень звукового давления при наличии звукоизолирующего кожуха. Результаты записать в табл. 5.

После выполнения лабораторной работы отключить генератор и измеритель шума от электросети. Убрать на место средства защиты от шума и привести в порядок рабочее место.

6. Оформление результатов лабораторной работы

Результаты работы оформляются в виде табл. 5. По результатам измерений строятся кривые спектров уровней звукового давления при отсутствии средств защиты, при наличии звукоизолирующей перегородки, при наличии звукопоглощающего короба и при наличии звукоизолирующего кожуха (рис.4).

Таблица 5. Результаты измерений шума

Характер измерений	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах частот, Гц			
	63	125	250	500
1. При отсутствии средств защиты				
2. При наличии звукоизолирующей перегородки:				
1. Фанера				
2. Картон				
3. ДСП				
4. Оргалит				
5. Винипласт				
$\Delta L_3 = L - L_3$				
3. При наличии звукопоглощающего короба				
$\Delta L_n = L - L_n$				
4. При наличии звукоизолирующего кожуха				
$\Delta L_k = L - L_k$				

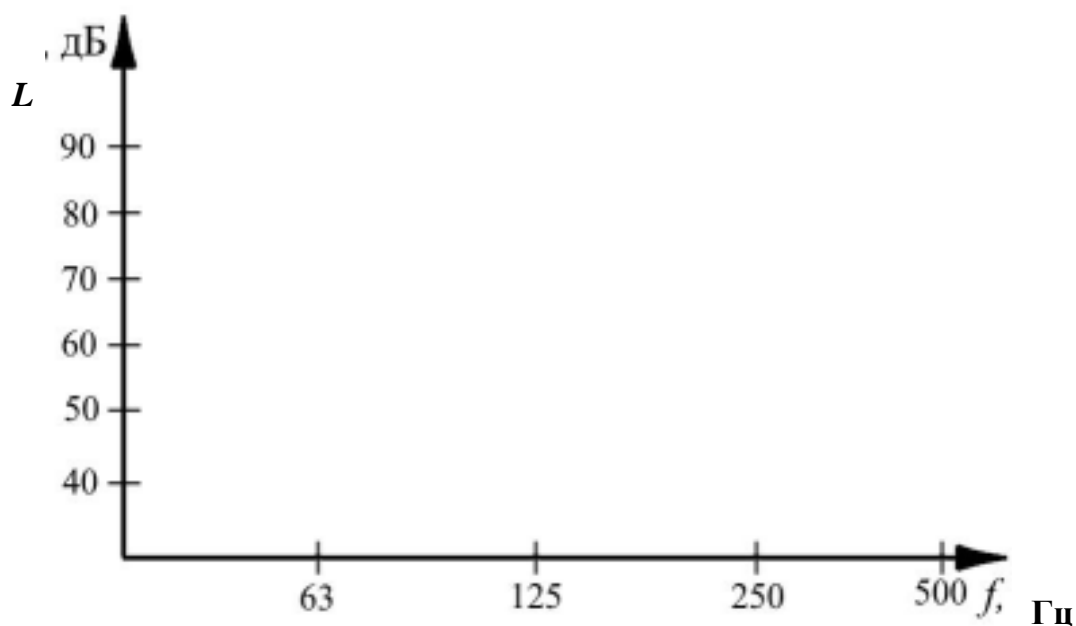


Рис. 4. Спектры уровней звукового давления

- 1(●) – исходный уровень шума;
- 2(■) – звукопоглощающая перегородка (по заданию преподавателя);
- 3(▲) – звукопоглощающий короб;
- 4(x) – звукоизолирующий кожух;
- 5(○) – допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот по СН 2.2.4/2.1.8.562-96.

Сделать выводы об эффективности исследованных средств защиты от шума и оценить их эффективность в зависимости от частоты звука и применяемых материалов.

Вопросы для подготовки

Как зависит восприятие шума от частоты звука?

Как определяется и от чего зависит допустимый уровень шума?

Какие способы применяются для снижения шума на рабочих местах?

Какие способы наиболее эффективны для снижения шума?

От чего зависит эффективность звукоизоляции?

От чего зависит эффективность звукопоглощающей облицовки?

Как влияет частота звука на эффективность звукоизоляции и звукопоглощения?

Список литературы

1. Борьба с шумом на производстве: Справ. / Е.Я. Юдин и др. – М.: Машиностроение, 1985.

2. СНиП 23-03-2003. Защита от шума. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 2003.

3. СанПиН 2.2.4./2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – М.: Минздрав, 1997.

4. СанПиН 2.2.4.3359- 2016. Санитарно- эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.- М.: Минздрав, 2016.