МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра охраны труда и окружающей среды

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор –
проректор по учебной работе
_____ Е.А.Кудряшов
_____12_____ 2010 г.

РАСЧЕТ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩИХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов специальностей университета

Курск 2010

УДК 504.06:534.83

Составители: А.В. Беседин, В.В. Юшин, Л.В.Шульга

Рецензент
Кандидат химических наук, доцент *В.В.Протасов*

Расчет звукоизолирующих ограждающих конструкций: методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.В. Беседин, В.В. Юшин, Л.В.Шульга, Курск, 2010. 16 с.: ил. 4, табл. 14, прилож. -. Библиогр.: с.16.

Методические указания содержат основные теоретические сведения по вопросам влияния шума на организм человека, основным методам защиты от шума. Приводится порядок и состав расчета звукоизолирующих ограждающих конструкций (кожухов, экранов), даются примеры решения задач.

Предназначены для студентов специальностей университета, изучающих дисциплину «Безопасность жизнедеятельности».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 9.12.10 Формат 60×84 1/16.
Усл. печ. л. 0,93. Уч.-изд. л. 0,8. Тираж 50 экз. Заказ. 384 Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

1. Влияние шума на организм человека

С физиологической точки зрения шумом является всякий нежелательный, неприятный для восприятия человека звук.

В зависимости от длительности и интенсивности воздействия шума происходит большее или меньшее снижение чувствительности органов слуха, выражающееся временным смещением порога слышимости, которое исчезает после окончания воздействия шума, а при большой длительности или (и) интенсивности шума происходят необратимые потери слуха, характеризуемые постоянным изменением порога слышимости. Так, длительное воздействие интенсивного шума (выше 80 дБ) на человека приводит к частичной или полной потере слуха.

Действие шума на организм человека не ограничивается воздействием на орган слуха. Через волокна слуховых нервов раздражение шумом передается в центральную и вегетативную нервные системы, а через них воздействует на внутренние органы, приводя к значительным изменениям в функциональном состоянии организма, влияет на психическое состояние человека, вызывая чувство беспокойства и раздражения. Человек, подвергающийся воздействию интенсивного шума, затрачивает в среднем на 10-20 % больше физических и нервно-психических усилий, чтобы сохранить выработку, достигнутую им при уровне звука ниже 70 дБ. Установлено повышение на 10-15% общей заболеваемости рабочих шумных производств. Шум затрудняет общение, отрицательно влияет на психику, на производстве воздействие шума приводит к браку, росту травматизма, на 15-20 % снижается производительность труда. При длительном воздействии шума сокращается продолжительность жизни.

Воздействие шума на вегетативную нервную систему проявляется даже при небольших уровнях звука (40-70 дБ) и не зависит от субъективного восприятия шума человеком. Из вегетативных реакций наиболее выраженным является нарушение периферического кровообращения за счет сужения капилляров кожного покрова и слизистых оболочек, а также повышение артериального давления (при уровнях звука выше 85 дБ).

Воздействие шума на центральную нервную систему вызывает увеличение латентного (скрытого) периода зрительно-моторной реакции, приводит к нарушению подвижности нервных процессов,

нарушает биоэлектрическую активность головного мозга с проявлением общих функциональных изменений в организме (уже при шуме 50-60 дБ), существенно состояния человека вплоть до стрессовых. Под воздействием шума снижается концентрация внимания, нарушаются физиологические функции, появляется усталость в связи с повышенными энергетическими затратами и нервно-психическим напряжением, ухудшается речевая коммутация. Все это снижает работоспособность человека и его производительность, качество и безопасность труда.

Шум на рабочих местах не должен превышать допустимых уровней, значения которых приведены в ГОСТ 12.1.003–96 «Шум. Общие требования безопасности».

2. Основные методы снижения уровня шума

Для снижения шума применяют различные методы, которые принято подразделять на:

- методы снижения шума в источнике его образования;
- методы снижения шума на пути распространения его от источника;
- средства индивидуальной защиты от шума.

Наиболее эффективным методом защиты является борьба с шумом в источнике его возникновения. Шум механизмов возникает вследствие упругих колебаний как всего механизма, так и отдельных его деталей. Причины возникновения шума - механические, аэродинамические и электрические явления, обусловленные конструктивными и технологическими особенностями оборудования, а также условиями эксплуатации. Для уменьшения механического шума необходимо своевременно проводить ремонт оборудования, заменять ударные процессы на безударные, применять принудительное смазывание трущихся поверхностей, балансировку вращающихся частей, пр.

Широкое применение получили методы снижения шума на пути его распространения посредством установки звукоизолирующих и звукопоглощающих преград в виде экранов, перегородок, кожухов, кабин, облицовки стен, потолков, использование глушителей и др.

Физическая сущность звукоизолирующих преград состоит в том, что наибольшая часть звуковой энергии отражается от специально выполненных массивных ограждений из плотных

твердых материалов (металла, дерева, пластмасс, бетона и др.) и только незначительная часть проникает через ограждение.

Экраны устанавливают между источником шума и рабочим местом. Акустический эффект экрана основан на образовании за ним области тени, куда звуковые волны проникают лишь частично. Степень проникновения зависит от соотношения между размерами экрана и длиной волны: чем больше длина волны, тем меньше при данных размерах область тени за экраном, а следовательно, тем меньше снижение шума. Поэтому экраны применяют в основном для защиты от средне- и высокочастотного шума, а при низких частотах они малоэффективны, так как за счет эффекта дифракции звук легко их огибает. Важно также расстояние от источника шума до экранируемого рабочего места: чем оно меньше, тем больше эффективность экрана. Экран оказывается эффективным тогда, когда отсутствуют огибающие его отраженные волны, т.е. либо на открытом воздухе, либо облицованном помещении.

Звукоизолирующими кожухами закрывают наиболее шумные машины и механизмы, локализуя, таким образом, источник шума. Для машин, выделяющих теплоту, кожухи снабжают вентиляционными устройствами с глушителями. Кожух должен плотно закрывать источник шума, но при этом не соединяться жестко с механизмом, так как это дает отрицательный эффект – кожух становится дополнительным источником шума.

Глушители шума применяются в основном для уменьшения шума различных аэродинамических установок и устройств. Они разделяются на адсорбционные, реактивные и комбинированные. Адсорбционные глушители, содержащие звукопоглощающий материал, поглощают поступившую в них звуковую энергию, а реактивные отражают ее обратно к источнику. В комбинированных глушителях происходит как поглощение, так и отражение звука.

Уменьшение шума в звукопоглощающих преградах обусловлено переходом колебательной энергии в тепловую благодаря внутреннему трению в звукопоглощающих материалах. Хорошие звукопоглощающие свойства имеют легкие и пористые материалы (минеральный войлок, стекловата, поролон и т.п.).

В тех случаях, когда технические способы не обеспечивают достижения требований действующих нормативов, необходимо ограничение длительности воздействия шума и применение противошумов. Противошумы - средства индивидуальной защиты

органа и предупреждения различных расстройств организма, вызываемых чрезмерным шумом. Их используют в основном тогда, когда технические средства борьбы с шумом не обеспечивают снижения его до безопасных пределов. Противошумы подразделяют на три типа: вкладыши, наушники и шлемы.

Одним из наиболее широко применяемых в производственных условиях методом борьбы с распространением шума является использование звукоизолирующих ограждающих конструкций.

3. Звукоизоляция ограждающими конструкциями

Ограждающими конструкциями могут являться стены зданий (жилых и производственных), отдельно стоящих кабин оперативного персонала, кожухи, закрывающие шумное оборудование. Подобные конструкции обеспечивают звукоизоляцию воздушного шума, т.е. ослабляют падающую на них звуковую волну. При расчетах звукоизоляцию воздушного шума можно определить для каждой стандартной полосы частот (рассчитать спектр звукоизоляции воздушного шума) или – приближенно – в дБ. Расчет спектра звукоизоляции чаще выполняют графоаналитическим методом.

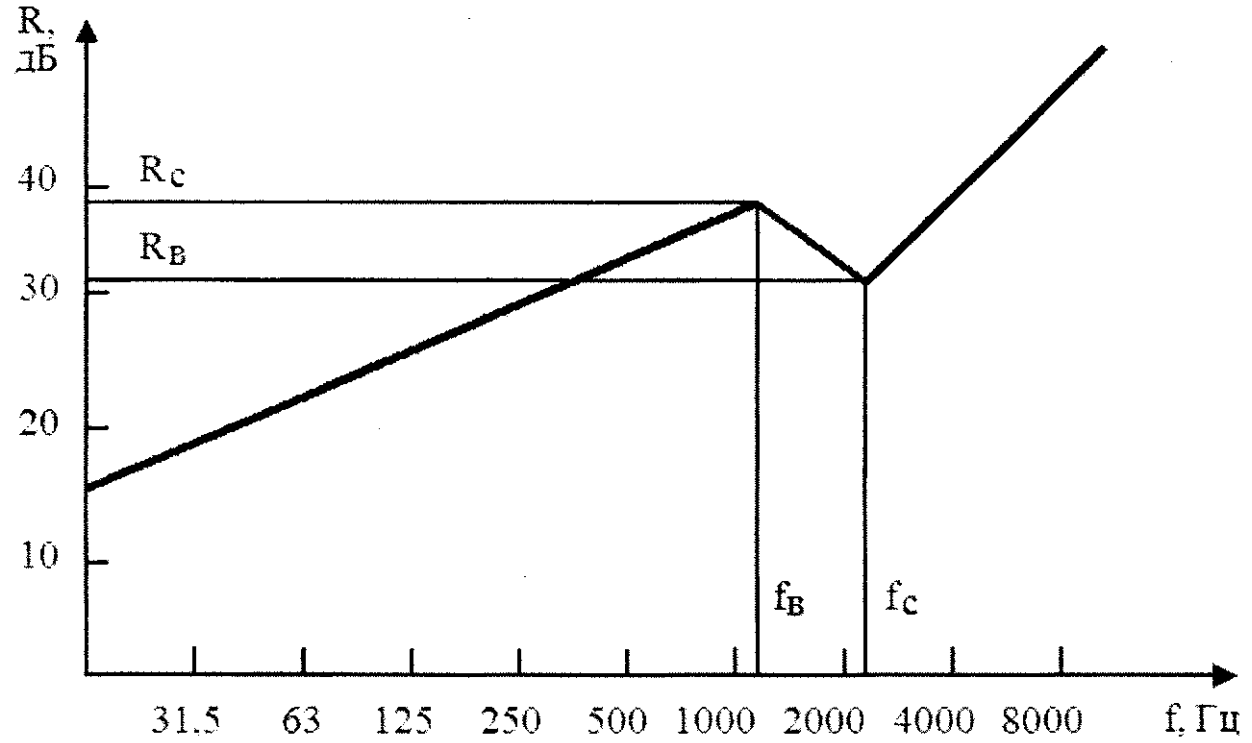

Рисунок 1 – Частотная характеристика звукоизоляции конструкции (на примере конструкции из металла)

Сущность метода заключается в построении частотной характеристики звукоизоляции конструкции. Вид частотной характеристики и ее параметры зависят от материала конструкции. Для конструкций из металла, стекла и т.п. вид частотной характеристики представлен на рисунке 1, а ее параметры определяются по данным таблицы 1.

Таблица 1 – Параметры частотной характеристики для рисунка 1

Материал	f_B, Гц	f_C, Гц	R_B, дБ	R_C, дБ
Сталь	6000/h	12000/h	39	31
Алюминиевые сплавы	6000/h	12000/h	32	22
Стекло силикатное	6000/h	12000/h	35	29
Стекло органическое	17000/h	34000/h	37	30
Асбестоцементные листы	11000/h	22000/h	36	30
Сухая штукатурка	19000/h	38000/h	36	30

Примечание: h – толщина ограждения, мм

Выбрав материал и толщину ограждающей конструкции, по данным таблицы 1 определяются параметры частотной характеристики f_B и f_C, Гц, R_B и R_C, дБ. Строится частотная характеристика в соответствии с рисунком 1 и по ней для каждой октавной полосы определяется звукоизоляция воздушного шума данной конструкцией R. Окончательно звукоизоляция конструкции $R_{ок}$, дБ, расчитывается с учетом влияния отраженных звуковых волн по одному из следующих соотношений:

- при распространении звука снаружи в помещение или при распространении звука из-под кожуха наружу:

$$R_{fок} = R_f + 10\lg\frac{\sum\alpha_i Si}{\sum S_i}, \qquad (1)$$

- при распространении звука в смежное помещение

$$R_{fок} = R_f + 10\lg\frac{B_и}{S_к}, \qquad (2)$$

где S_i – площадь поверхности, имеющей коэффициент звукопоглощения α_i;

$B_и$ – постоянная изолируемого помещения, определяется по соотношениям (3) и (4):

$$B_{и} = \frac{\sum \alpha_i S_i}{1 - \alpha_{ср}}; \qquad (3)$$

$$\alpha_{ср} = \frac{\sum \alpha_i S_i}{\sum S_i}; \qquad (4)$$

$S_к$ – площадь конструкции через которую в смежное помещение поступает шум, м^2.

Если конструкция неоднородна, т.е. состоит из n элементов, площадью S_i, м^2, имеющих звукоизоляцию R_{fi}, то эквивалентная звукоизоляция такой конструкции, дБ, определяется по следующему соотношению:

$$R_{fэк} = 10 \lg \frac{1}{\sum \frac{S_i}{S_o} 10^{-0,1 R_i}}, \qquad (5)$$

где $S_o = \sum S_i$.

При ориентировочных расчетах звукоизоляция конструкции, дБА, может определяться по следующим соотношениям:

- для ограждений из бетона, кирпича и т.п.:

$$R = 22 \lg m - 12; \qquad (6)$$

- для ограждений из стали толщиной 1÷10 мм:

$$R = 22 + 9 \lg h; \qquad (7)$$

- для ограждений из стекла толщиной 2÷ 10 мм:

$$R = 18 + 8,5 \lg h; \qquad (8)$$

- для ограждений из органического стекла толщиной 5÷ 30 мм:

$$R = 12 + 12 \lg h, \qquad (9)$$

где m – масса 1 м^2 конструкции, кг;

h – толщина конструкции, мм.

Учет неоднородности конструкции производится по соотношению (5).

4. Экранирование источников шума

Если между источником шума (ИШ) и рабочим местом расположить преграду, обладающую бесконечно большой звукоизоляцией, размеры которой больше длины звуковой волны, то за ней образуется акустическая тень. Однако часть волн, огибая края преграды, попадет в область тени. Снижение уровня звукового давления такой бесконечно длинной преградой (экраном) рассчитывается по законам дифракции по следующим формулам:

$$\Delta L_{экр} = 20 \lg \frac{\sqrt{2\pi N}}{\text{th}(2\pi N)} + 5; \qquad (10)$$

$$N = 2\frac{\delta}{\lambda}; \qquad (11)$$

$$\delta = a + b - d, \qquad (12)$$

где N – число Френеля;

a, b, d – определяются по рисунку 2, м;

λ – длина звуковой волны, м.

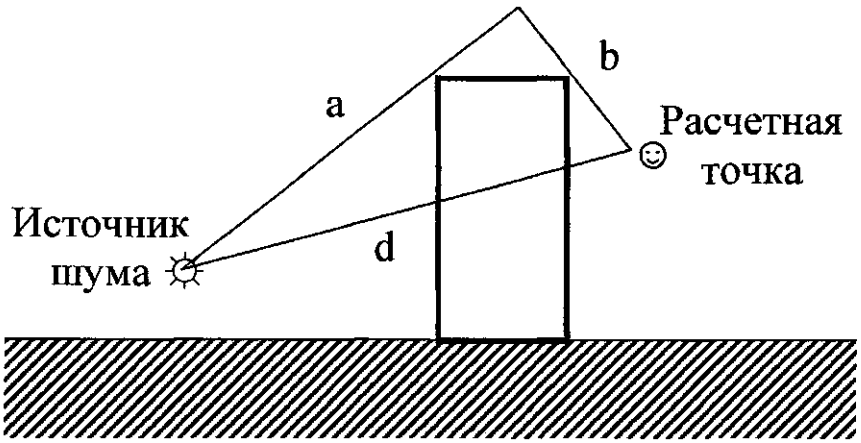

Рисунок 2 – К определению числа Френеля

Если экран расположен так, что a + b = d, то $\Delta L_{экр} = 0$. Если экран имеет конечные размеры, то шум огибает его со всех сторон и тогда снижение уровня звукового давления таким экраном определяется по соотношению:

$$\Delta L_{экр} = -10\lg(10^{-0,1\Delta L_{э1}} + 10^{-0,1\Delta L_{э2}} + 10^{-0,1\Delta L_{э3}}), \qquad (13)$$

где $\Delta L_{Эi}$ рассчитывается по соотношениям (10, 11, 12) для случаев огибания экрана со всех сторон по рисункам, аналогичным рисунку 2. Все построения на данных рисунках выполняются в масштабе.

Примеры решения задач

Задача 1: Определить спектр уровней звукового давления на рабочем месте, находящемся на расстоянии 5 м от насоса в свободном звуковом поле, если его накрыть стальным кожухом толщиной 5 мм. Расчет выполнить для двух вариантов: необработанная внутренняя поверхность кожуха и внутренняя поверхность кожуха покрыта поролоном. Спектр звуковой мощности насоса приведен в таблице 2, спектры коэффициентов звукопоглощения стали и поролона приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 2 – Спектр уровней звуковой мощности насоса L_P

f, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L_P, дБ	80	85	90	92	94	96	91	88	75

Таблица 3 – Коэффициент звукопоглощения стали $\alpha_{стали}$

f, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\alpha_{стали}$	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,11

Таблица 4 – Коэффициент звукопоглощения поролона $\alpha_{пор}$

f, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\alpha_{пор}$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1	1

Решение: Необходимо определить спектр уровней звукового давления на рабочем месте при отсутствии звукоизолирующего кожуха:

$$L_i = L_{pi} + 10\lg\Phi - 10\lg\Omega - 20\lg r, \qquad (14)$$

где Ω – телесный угол, в который излучает источник, стерад.; $\Omega = 4\pi$ – если источник шума уединенный; $\Omega = 2\pi$ – если источник шума находится на поверхности (например, на полу), $\Omega = \pi$ – если

источник шума находится у стены, и $\Omega = \pi /2$ – если источник шума находится в углу помещения;

Ф – фактор направленности излучения, задается в паспорте источника шума в виде диаграммы направленности излучения, в виде таблицы или математического соотношения; если значение Ф неизвестно, то принимается Ф = 1.

Так как расстояние от насоса до расчетной точки больше максимального размера насоса, то его можно считать точечным и расположенным на полу, и тогда $\Omega = 2\ \pi$. Сведений о диаграмме направленности излучения нет, тогда Ф=1.

Для первой октавной полосы:

$$L_1 = 80 + 10\lg 1 - 10\lg 2\pi - 20\lg 5 = 58 \text{дБ}.$$

Аналогично определяется спектр уровней звукового давления для остальных октавных полос, результаты расчета представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Спектр уровней звукового давления на рабочем месте при отсутствии кожуха

f, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L, дБ	58	63	68	70	72	74	69	66	53

Звукоизолирующая способность металлического кожуха определяется графоаналитическим методом.

По данным таблицы 1 строится частотную характеристику изоляции воздушного шума ограждением из металла (рисунок 3):

- $f_B = 6000 / h = 6000 / 5 = 1200$ Гц;
- $R_B = 39$ дБ;
- $f_C = 12000 / h = 12000 / 5 = 2400$ Гц;
- $R_C = 31$ дБ.

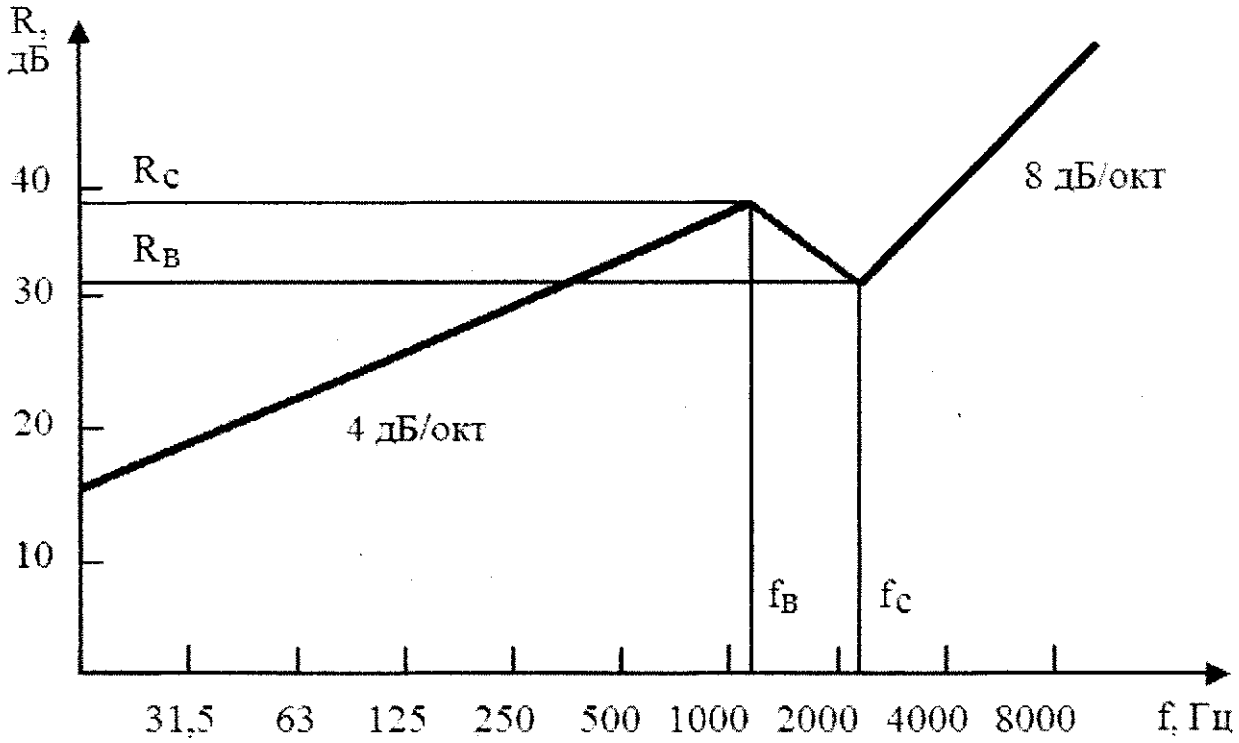

Рисунок 3 – Частотная характеристика звукоизоляции кожуха

По графику определяется звукоизолирующая способность металлического кожуха R (таблица 6):

Таблица 6 – Звукоизоляция металлического кожуха

f, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
R, дБ	18	22	26	30	34	38	32	40	48

Звукоизолирующая способность металлического кожуха $R_К$ определяется с учетом звукопоглощения стали:

$$R_{кi} = R_i + 10\lg\alpha_{сталиi}. \qquad (15)$$

Для первой октавной полосы:

$$R_{к1} = 18 + 10\lg 0{,}05 = 5\text{дБ}.$$

Аналогично определяются значения $R_к$ для других октавных полос (таблица 7).

Таблица 7 – Звукоизоляция металлического кожуха с учетом звукопоглощения стали

f, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$R_к$, дБ	5	9	14	18	23	27	22	30	38

Затем определяются уровни звукового давления на рабочем месте с учетом звукоизолирующей способности металлического кожуха:

$$L_{сті} = L_i - R_{кі}. \qquad (16)$$

Для первой октавной полосы:

$$L_{ст1} = 58 - 5 = 53 дБ.$$

Аналогично определяются уровни звукового давления на рабочем месте с учетом звукоизолирующей способности кожуха и для других октавных полос (таблица 8).

Таблица 8 – Уровни звукового давления на рабочих местах от насоса, закрытого металлическим кожухом

f, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{ст}$, дБ	53	54	54	52	49	47	47	36	15

Звукоизолирующая способность металлического кожуха, внутренняя поверхность которого покрыта поролоном определяется по формуле (15).Так, для первой октавной полосы значение $R_{к1}$ составит:

$$R_{к1} = 18 + 10 \lg 0{,}4 = 14 дБ.$$

Величины $R_к$. для остальных октавных полос представлены в таблице 9.

Таблица 9 –Звукоизоляция металлического кожуха с внутренней поверхностью, покрытой поролоном

f, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$R_к$, дБ	14	19	24	28	33	38	38	40	48

Уровни звукового давления на рабочем месте с учетом звукоизолирующей способности металлического кожуха, внутренняя поверхность которого покрыта поролоном определяются по (16). Для первой октавной полосы:

$$L_{пор1} = 58 - 14 = 44 дБ.$$

Аналогично вычисляются уровни звукового давления для других октавных полос (таблица 10).

Таблица 10 –Уровни звукового давления на рабочих местах от насоса под кожухом, внутренняя поверхность которого покрыта поролоном

f, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{пор}$,дБ	44	44	44	42	39	36	37	26	5

Сравнение результатов таблиц 8 и 10 показывает, насколько возрастает эффективность звукоизоляции кожуха при покрытии его внутренней поверхности поролоном.

Задача 2: Рассчитать уровни звукового давления от автострады (линейный источник шума) перед помещением, находящимся в здании, расположенном на расстоянии 50 м от автострады, на третьем этаже (высота 10 м), с учетом бесконечно длинного экрана высотой 25 м, находящегося на расстоянии 5 м от автострады. Уровни звукового давления на расстоянии 7,5 м от оси автострады приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Спектр уровней звукового давления автострады

f, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L, дБ	110	105	100	100	90	95	90	95	80

Решение: Строится в масштабе схема расположения экрана, расчетной точки и автострады (рисунок 4).

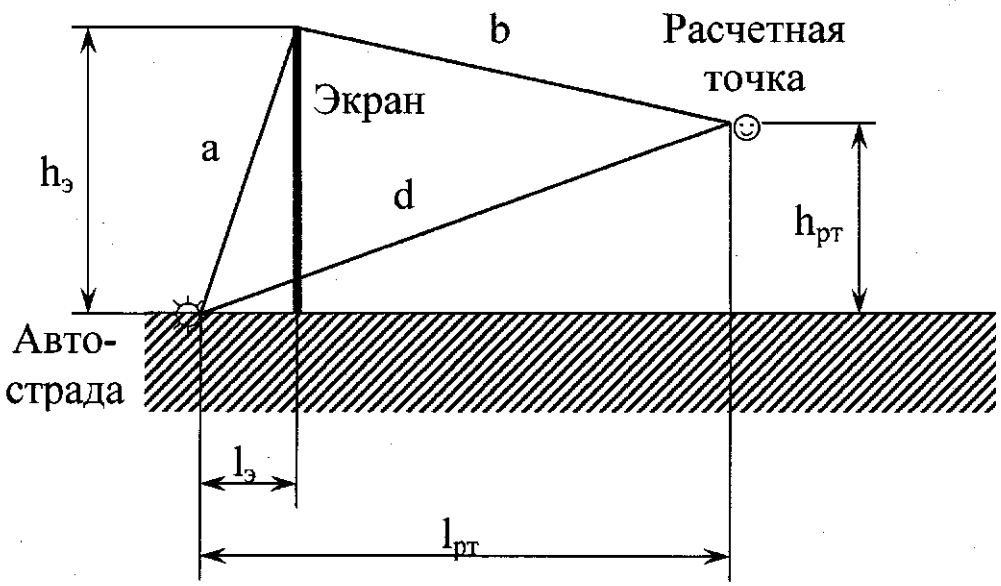

Рисунок 4 – Схема расположения экрана, расчетной точки и автострады

Измеряются параметры a = 25,5 м, b = 47,5 м и d = 51 м и рассчитывается δ:

$$\delta = 25{,}5 + 47{,}5 - 51 = 22\text{м}.$$

Для каждой октавной полосы частот рассчитывается длина звуковой волны λ_i по соотношению:

$$\lambda_i = \frac{c}{f_i}, \qquad (17)$$

Где c – скорость звука в воздухе, принимаем c = 332 м/с;

f_i – среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц.

По (11) определяются числа Френеля для каждой октавы, результаты сводятся в таблицу 12.

Таблица 12 – Числа Френеля для октавных полос

f, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
N	4,2	8,4	16,5	33	66	132	265	530	1060

По (10) рассчитываем снижение уровня звукового давления данным экраном. Результаты приводятся в таблицу 13.

Таблица 13 – Эффективность рассчитываемого экрана

f, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\Delta L_{экр}$, дБ	19	22	25	28	31	34	37	40	43

Уровни звука в расчетной точке определяются по соотношению:

$$L_{рті} = L_i - \Delta L_{экрі}. \qquad (18)$$

Результаты расчета сводятся в таблицу 14.

Таблица 14 – Уровни звукового давления в расчетной точке

f, Гц	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{рт}$, дБ	91	83	75	72	59	61	53	55	37

Список использованных источников.

1. Безопасность жизнедеятельности в машиностроении : Учеб. пособие для студ. вузов / Еремин В.Г., Сафронов В.В., Схиртладзе А.Г., Харламов Г.А. - М.: Машиностроение, 2008. - 384 с.

2. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда) / Кукин П.П., Лапин В.Л., Пономарев Н.Л., Сердюк Н.И.. - М.: Высшая школа, 2009. - 335 с.

3. Безопасность жизнедеятельности: в вопросах и ответах, задачах и решениях // Горбунов А.Г., Дьяков В.И., Ларионов В.Н., Попов Г.В., Соколов А.К., Строев В.П., Тихонов А.И., Чернов К.В. – ИГЭУ. – Иваново, 2000. – 404 с.