

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра безопасности жизнедеятельности

Ш. Ш. ХИСМАТУЛЛИН, Г. Г. ХИСМАТУЛЛИНА, И. В. ЕФРЕМОВ

РАСЧЕТ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ШУМА ЗА СЧЕТ ЭКРАНИРОВАНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2009

УДК 613.644: 628.517 (07)

ББК 51.20+30 ня 7

X 51

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности В. А. Василенко

X 51 **Хисматуллин, Ш. Ш.**
Расчет снижения уровня шума за счет экранирования: методические указания к практическим занятиям /
Ш.Ш. Хисматуллин, Г.Г. Хисматуллина, И.В. Ефремов. –
Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009 – 25с.

В методических указаниях представлены физические характеристики и действия шума на организм человека, измерение и нормирование шума, расчет ожидаемого уровня шума и требуемой эффективности мероприятий по шумоглушению.

Методические указания предназначены для обеспечения практических занятий по дисциплине «Промышленная акустика» и рекомендованы для обучения студентов всех специальностей.

ББК 51.20+30 ня 7

© Хисматуллин Ш.Ш., 2009
Хисматуллина Г.Г.
Ефремов И.В.
© ГОУ ОГУ, 2009

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение..... | 4 |
| 1 Физические характеристики и измерение шума..... | 6 |
| 2 Действие шума на организм человека и его нормирование..... | 9 |
| 3 Источники шума и шумовые характеристики..... | 10 |
| 4 Расчет снижения уровня шума..... | 16 |
| 5 Звукоизоляция и звукопоглощение..... | 18 |
| 6 Задание для выполнения самостоятельной работы | 23 |
| 7 Контрольные вопросы..... | 24 |
| Список использованных источников..... | 25 |

Введение

В последние десятилетия ученые и специалисты все больше склоняются к тому, что шум сегодня является наиболее вредным энергетическим загрязнением окружающей среды.

Исследованиями ученых установлено, что интенсивный производственный шум, действуя длительное время на человека, оказывает влияние на весь организм. Интенсивный шум неблагоприятно действует на организм человека и может явиться причиной профессиональных и производственно обусловленных заболеваний. При работе в условиях шума снижается производительность труда. Шум притупляет внимание, замедляет реакцию человека на те или иные раздражители, мешает восприятию полезных сигналов. Он нарушает комфорт и является источником беспокойства для населения в расположенных вблизи транспортных объектов населенных пунктах. Под воздействием сильного шума возрастает кровяное и внутричерепное давление, изменяется ритм дыхания и сердечной деятельности, понижается кислотность желудочного сока, замедляется процесс пищеварения, нарушается работоспособность клеток коры головного мозга. Об активном участии центральной нервной системы в реакции организма на шум свидетельствует ряд симптомов: ослабление внимания, бессонница, головокружение, раздражительность, нервное напряжение, снижение работоспособности, остроты зрения, нарушение нормального цветоощущения.

Уменьшение воздействия шума до допустимых величин – одно из непереносимых условий оздоровления условий труда и охраны окружающей среды.

Согласно требованиям ГОСТ 12.1.003 – 85 при разработке технологических процессов, проектировании, изготовлении и эксплуатации машин, производственных зданий и сооружений, а также при организации рабочих мест следует принимать все необходимые меры по снижению шума, воздействующего на человека, до значений, не превышающих допустимые.

Вопросы борьбы с шумом должны решаться на стадии проектирования машин, транспортных средств, оборудования, зданий, сооружений, населенных пунктов, а также в процессе изготовления, испытания, приемки, эксплуатации и ремонта этих объектов.

Борьба с шумом не только имеет социальное и медико-гигиеническое значение, но и важна с экономической точки зрения. Как и любой другой вредный производственный фактор, шум влечет за собой экономические потери. Исследования, проведенные как в нашей стране, так и за рубежом, показали, что уменьшение шума повышает производительность труда, способствует улучшению качества продукции, снижению текучести кадров и обусловленным ею расходов. Машины, средства транспорта, другое оборудование, отличающиеся меньшим уровнем шума, являются более конкурентоспособными на международных рынках.

Создан ряд машин и механизмов, шум которых находится в допустимых пределах. Несмотря на это, на предприятиях транспорта имеется еще много агрегатов и технологических процессов, шум которых превышает нормы.

Борьба с производственным шумом на предприятиях ведется по следующим направлениям:

- уменьшение шума в источнике возникновения, изменение и замена шумного технологического процесса или оборудования малошумным;
- звукопоглощение;
- звукоизоляция;
- глушители шума;
- рациональное размещение и планирование времени работы оборудования;
- личная профилактика.

В зависимости от конкретных условий мероприятия осуществляются раздельно, в различных сочетаниях или, чаще всего, в комплексе.

Данное методическое указание позволяет подсчитать необходимое снижение шума посредством звукопоглощения и подобрать средства защиты.

1 Физические характеристики и измерение шума

Интенсивный шум неблагоприятно действует на организм человека и может явиться причиной профессиональных заболеваний. При работе в условиях шума снижается производительность труда. Шум притупляет внимание, замедляет реакцию человека на те или иные раздражители, мешает восприятию полезных сигналов, что особенно опасно на работах, связанных с движением поездов. Он нарушает комфорт пассажиров и является источником беспокойства для населения в расположенных вблизи железнодорожных объектов населенных пунктах.

Вопросы борьбы с шумом должны решаться на стадии проектирования машин, транспортных средств, оборудования, зданий, сооружений, населенных пунктов, а также в процессе изготовления, испытания, приемки, эксплуатации и ремонта этих объектов.

Шумом называются звуки, мешающие восприятию полезных звуков или нарушающие тишину, а также звуки, оказывающие вредное или раздражающее действие на организм человека.

В качестве основных величин, используемых для нормирования шума и расчетов по шумоглушению, принимают звуковое давление в паскалях (Па) и его уровень в децибелах (дБ)

Звуковое давление p – разность между мгновенным значением давления в данной точке среды при прохождении через эту точку звуковых волн и средним давлением, которое наблюдается в этой же точке при отсутствии звука.

Уровень звукового давления определяют по формуле (3):

$$L = 20 \lg(p_{cp} / p_0), \quad (3)$$

где p_{cp} - среднеквадратичное значение звукового давления в точке измерения, Па; p_0 - пороговое значение звукового давления, принятое по международному соглашению равным $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Если за восьмичасовой рабочий день уровень звукового давления на рабочем месте изменяется не более чем на 5 дБ, то шум называют постоянным, в противном случае – непостоянным.

Непостоянный шум в свою очередь подразделяют на колеблющийся во времени, если уровень звукового давления непрерывно изменяется (например, шум в кузовном отделении вагонного депо, шум дорожного движения, шум проходящего по рельсам подвижного состава и т.п.); прерывистый, если уровень звукового давления резко падает до уровня фонового шума, причем длительность интервалов, в течение которых уровень давления остается постоянным и превышает уровень фона, составляет 1с и более (например, шум выброса сжатого воздуха из ресивера компрессора, шум одиночной шлифовальной машины и т.п.); импульсный, состоящий из одного или нескольких звуковых сигналов, каждый длительностью менее 1с (например, шум при забивании гвоздей молотком и т.п.)

При рассмотрении вопросов охраны труда обычно пользуются октавными полосами частот, средние значения которых соответствуют диапазону слыши-

мых звуков и составляют стандартный ряд (16), (31,5), 63, 125, 250, 500, 1 000, 2 000, 4 000, 8 000, (16 000) Гц. В скобках показаны частоты, в которых шум, как правило, не нормируют, хотя они лежат в слышимом диапазоне частот.

Частотный состав шума характеризует его спектр. Спектром шума называют зависимость уровня звукового давления в частотных полосах от средних частот этих полос. Спектр можно представить либо в виде таблицы, либо графически в виде ломаной линии. В качестве средней частоты октавной полосы принимают среднегеометрическую частоту по формуле (4):

$$f_{cp} = \sqrt{f_{1cp} f_{2cp}} \quad (4)$$

где f_{1cp} и f_{2cp} – крайние частоты полосы.

Спектр, а, следовательно, и шум, которому он соответствует, может быть низкочастотным (максимум уровня звукового давления находится в области частот ниже 300 Гц), среднечастотным (область частот от 300 до 800 Гц) и высокочастотным (область частот более 800 Гц).

Звук с частотами ниже 20 Гц называют инфразвуком, а с частотами выше 20 кГц – ультразвуком. Эти звуки не слышимы для человека.

Шум называют тональным, если в нем прослушивается звук определенной частоты. В противном случае он будет широкополосным. Пример тонального шума – сигналы локомотивов, а широкополосного – шум водопада, шум подвижного состава.

Важной характеристикой звукового (шумового) поля (т.е. области пространства, в которой наблюдается шум), помимо звукового давления и частоты, является интенсивность звука. Она представляет собой поток энергии, переносимой звуковыми волнами в единицу времени через площадку 1 м.кв., ориентированную перпендикулярно направлению звукового луча. Интенсивность звука – векторная величина, измеряемая в ваттах на метр квадратный (Вт/м²). С точки зрения охраны труда интерес представляет лишь средняя во времени величина интенсивности.

Интенсивность и звуковое давление p связаны между собой соотношением формулы (5):

$$I = \overline{p^2} / \rho c \quad (5)$$

где $\overline{p^2}$ – средний квадрат звукового давления, Па²;

ρ – плотность среды, в которой распространяется звук, кг/м³;

c – скорость звука в данной точке среды, м/с.

Для воздуха независимо от атмосферного давления согласно (7)

$$c = 20\sqrt{T} \quad (7)$$

где T – абсолютная температура воздуха, К.

Уровень интенсивности звука определяют по формуле (в дБ) (8):

$$L_1 = 10 \lg I / I_0 \quad (8)$$

где $I_0 = 10^{-12}$ – стандартное пороговое значение интенсивности, Вт/м².

Величина I_0 выбрана такой, что при нормальных атмосферных условиях ($t=20$ °С, $\rho=1,2$ кг/м³) уровень звукового давления L и уровень интенсивности L_1 численно равны друг другу. Равенство этих величин упрощает акустические расчеты.

Если в данную точку пространства приходят некогерентные звуковые волны (т.е. волны, фазы которых в разные моменты времени отличаются друг от друга) с уровнями звукового давления L_i , то уровень звукового давления суммарного звука составит (в дБ)

$$L = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i}, \quad (9)$$

где n – общее число независимых слагаемых уровней.

Эта формула соответствует условию, что интенсивности всех некогерентных источников складываются

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (10)$$

Поэтому, если имеется n одинаковых источников, каждый из которых создает в данной точке уровень звукового давления L_1 , суммарный уровень будет рассчитываться по формуле:

$$L = L_1 + 10 \lg m \quad (11)$$

Например, если один источник создает уровень $L_1 = 73$ дБ, то 100 источников создадут уровень $L = 73 + 10 \lg 100 = 93$ дБ.

Удвоение числа источников каждый раз увеличивает уровень на 3 дБ.

Для измерения шума и его спектра применяют шумомеры с соответствующими фильтрами и частотные анализаторы.

Измерения шума проводят для контроля соответствия фактических его уровней на рабочих местах установленным нормам, для оценки шумового режима в помещениях, разработки мероприятий по снижению шума и оценки их эффективности.

2 Действие шума на человека. Нормирование шума

Звук с уровнем звукового давления менее некоторой величины, называемой порогом слышимости, не воспринимается человеком. Порог слышимости у каждого человека различен и зависит от возраста, состояния слуха, утомления, индивидуальных особенностей организма, а также от частоты звука.

Различают пять ступеней действия шума на человека в зависимости от уровня звукового давления. Если уровень звукового давления ниже порога слышимости, что соответствует полной тишине (первая ступень действия шума), то человек ощущает психологический дискомфорт. Он невольно прислушивается к шуму своего дыхания, процесса пищеварения и т.п. В природе такие условия практически не встречаются. Обычно человека окружает нормальный, привычный для него шумовой фон (вторая ступень действия шума) с уровнями звукового давления на средних частотах 15-35 дБ. Такой шум необходим для нормальной жизнедеятельности.

При увеличении уровня звукового давления до 40-70 дБ наступает третья, психологическая область действия шума. Этот шум, особенно если он неконтролируем и несет определенную информацию, оказывает раздражающее действие, не изменяя функций слуха и не мешая восприятию полезных сигналов. Он может снизить производительность умственного труда, ухудшить самочувствие. Примером такого шума являются мешающая музыка или разговор, шум санитарно-технического или инженерного оборудования зданий и т.д.

Уровни звуковых давлений 75-120 дБ (четвертая ступень действия шума), характерные для производственных и транспортных шумов, производят неблагоприятное физиологическое действие. В этом случае значительно раньше, чем поражается орган слуха, страдает центральная нервная и сердечнососудистая система. Работники, подвергающиеся воздействию такого шума, часто жалуются на раздражительность, головные боли, снижение внимания и памяти, сонливость, повышенную утомляемость, нарушения сна, иногда – на головокружение. Они чаще болеют гипертонией или гипотонией, язвенной болезнью, колитами и гастритами, неврозами. У них чаще и скорее развивается профессиональная тугоухость.

Постоянный шум с уровнями звукового давления более 120 дБ, а также импульсный шум с уровнями, превышающими 150 дБ при длительности воздействия 100 мс и 160 дБ при длительности воздействия 5 мс, могут привести к акустической травме в виде значительного понижения слуха (пятая ступень действия шума). При постоянном шуме с уровнями 170 дБ и выше и импульсном шуме с уровнями 180 дБ и выше может наступить контузия и даже смерть.

Вредность шума как фактора производственной среды и среды обитания человека приводит к необходимости ограничивать его уровни. Санитарные уровни шума нормируют двумя способами:

- методом предельных спектров (ПС);
- методом уровня звука.

Метод предельных спектров, применяемый для нормирования постоянного шума, предусматривает ограничение уровней звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1 000, 2 000,

4 000 и 8 000 Гц. Совокупность этих предельных октавных уровней называют предельным спектром. Обозначают тот или иной предельный спектр уровнем его звукового давления на частоте 1 000 Гц. Например, «ПС-80» означает, что данный предельный спектр имеет на частоте 1 000 Гц уровень звукового давления 80 дБ. На частоте 63 Гц уровень для этого спектра равен 99 дБ, а на частоте 8 000 Гц – 74 дБ.

Метод уровней звука применяют для нормирования непостоянного шума, например, внешнего шума транспортных средств, городского шума. При этом методе измеряют скорректированный по частоте общий уровень звукового давления во всем диапазоне частот, соответствующем перечисленным выше октавным полосам. Измеренный таким образом уровень звука позволяет характеризовать величину шума не восемью цифрами уровней звукового давления, как в методе предельных спектров, а одной. Измеряют уровень звука в децибелах шумомером со стандартной скорректированной частотной характеристикой, в котором при помощи соответствующих фильтров снижена чувствительность на низких частотах.

Непостоянный шум характеризуют эквивалентным (по энергии) уровнем звука, т.е. уровнем звука постоянного широкополосного неимпульсного шума, оказывающего такое же воздействие на человека, как и данный непостоянный шум. Для определения эквивалентного уровня звука $L_{Аэкв}$ (дБ) нужно измерить в различные моменты времени t уровень звука L_A и определить эквивалентный уровень по формуле (12):

$$L_{Аэкв} = 10 \lg \frac{1}{T} \int_0^T 10^{0,1L_A} dt, \quad (12)$$

где T – период усреднения (в производственных условиях обычно 30 мин, замеры производятся через каждые 5-6 с).

Нормы предельно допустимого шума в некоторых помещениях и средствах транспорта приведены в таблице 1.

3 Источники шума и шумовые характеристики

Шум по происхождению делят на механический, аэродинамический, гидродинамический, электромагнитный.

Источниками механического шума являются механические вибрации. Источниками аэродинамического шума могут быть нестационарные явления при течении газов и жидкостей. В гидродинамических установках (насосы, турбины) следует избегать возникновения кавитации, вызывающей гидродинамический шум. Источниками электромагнитного шума являются механические колебания электротехнических устройств, возбуждаемые переменными магнитными и электрическими полями.

Источник шума характеризуют звуковой мощностью P , под которой понимают количество энергии в ваттах, излучаемой этим источником в виде звука в единицу времени.

Таблица 1 - Нормы предельно-допустимого шума в некоторых помещениях и средствах транспорта.

| Рабочие места | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц | | | | | | | | Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБ |
|--|--|-----|-----|-----|------|------|------|------|---|
| | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| <i>Производственные помещения</i> | | | | | | | | | |
| Помещения конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, лабораторий для теоретических работ и обработки экспериментальных данных. | 71 | 61 | 54 | 49 | 45 | 42 | 40 | 38 | 50 |
| Помещения управления, рабочие комнаты. Кабины наблюдения и дистанционного управления: | 79 | 70 | 68 | 58 | 55 | 52 | 50 | 49 | 60 |
| Без речевой связи по телефону; | | | | | | | | | |
| с речевой связью по телефону. | 94 | 87 | 82 | 78 | 75 | 73 | 71 | 70 | 80 |
| Помещения и участки точной сборки, машинописные бюро. | 83 | 74 | 68 | 63 | 60 | 57 | 55 | 54 | 65 |
| Помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ, помещения для размещения шумных агрегатов | 83 | 74 | 68 | 63 | 60 | 57 | 55 | 54 | 65 |
| | 94 | 87 | 82 | 78 | 75 | 73 | 71 | 70 | 80 |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| вычислительных машин. Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий | 99 | 92 | 86 | 83 | 80 | 78 | 76 | 74 | 85 |
| Подвижной состав железнодорожного транспорта | | | | | | | | | |
| Кабины машиниста тепловозов, электровозов, дизель-поездов и автомотрис. | 95 | 87 | 82 | 78 | 75 | 73 | 71 | 69 | 80 |
| Помещения для персонала вагонов поездов дальнего следования, служебных отделений рефрижираторных поездов, электропоездов, вагонов-электростанций. | 83 | 74 | 68 | 63 | 60 | 57 | 55 | 54 | 65 |
| Межобластные вагоны и вагоны-рестораны. | 87 | 79 | 72 | 68 | 65 | 63 | 61 | 59 | 70 |
| Вагоны пригородных поездов и электросекций, кабины машинистов электросекций. | 91 | 83 | 77 | 73 | 70 | 68 | 66 | 64 | 75 |
| Селитебная территория | | | | | | | | | |
| Территория новой жилой застройки: | 77 | 67 | 59 | 54 | 50 | 47 | 45 | 43 | 55 |
| днем | 67 | 57 | 49 | 44 | 40 | 37 | 35 | 33 | 45 |
| ночью | | | | | | | | | |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Жилые комнаты | 65 | 54 | 45 | 39 | 35 | 32 | 30 | 28 | 40 |
| квартир в домах | 55 | 44 | 35 | 29 | 25 | 22 | 20 | 18 | 30 |
| новой застройки: | | | | | | | | | |
| днем | | | | | | | | | |
| ночью | | | | | | | | | |

Уровень звуковой мощности источника (дБ) определяют по формуле 13:

$$L_p = 10 \lg P / P_0, \quad (13)$$

где P - звуковая мощность источника, Вт;

P_0 - пороговое значение звуковой мощности, равное 10^{-12} Вт.

Если окружить источник шума какой-либо замкнутой поверхностью S , то в соответствии с законом сохранения энергии для определения звуковой мощности источника необходимо просуммировать произведения интенсивности звука во всех точках этой поверхности на площади элементарных площадок, расположенных перпендикулярно вектору \vec{I}

$$P = \int_S \vec{I} n dS, \quad (14)$$

где \vec{n} – нормаль к поверхности S .

Формула верна для условия, что потери энергии между источником и поверхностью S отсутствуют.

В частном случае, когда источник излучает звуковую энергию во все стороны равномерно, средняя интенсивность звука ($\text{Вт}/\text{м}^2$) в какой-либо точке пространства будет равна:

$$I_{cp} = P / 4\pi r^2, \quad (15)$$

где r - расстояние от центра источника до поверхности сферы, удаленной на такое достаточно большое расстояние, чтобы источник можно было считать точечным, м.

Практически с ошибкой, не превышающей 1 дБ, расстояние r принимают не менее двух максимальных линейных размеров источника и не менее одной длины звуковой волны.

Если излучение происходит не в сферу, а в ограниченное пространство, вводится угол излучения Ω , измеряемый в стерadianах. Тогда

$$I_{cp} = P / \Omega r^2. \quad (16)$$

Если источник шума представляет собой транспортное средство, расположенное на поверхности земли, то $\Omega = 2\pi$, в двугранном углу $\Omega = \pi$, в трехгранном $\Omega = \pi/2$.

Фактором направленности источника называют отношение интенсивности звука, излучаемого в заданном направлении, к средней интенсивности

$$\Phi = I / I_{cp}, \quad (17)$$

Характеристикой направленности является зависимость фактора направленности Φ от направления на источник.

Шумовая характеристика машины представляет собой совокупность уровней звуковой мощности машины в стандартных октавных полосах частот. Если направленность звукового излучения машины имеет значение для оценки шума или выполнения расчетов, то характеристика направленности в соответствующих октавных полосах также будет являться шумовой характеристикой. В большинстве случаев для оборудования, устанавливаемого в помещениях, характеристика направленности незначительна из-за отражения звука от ограждений, поэтому для такого оборудования она не измеряется.

Уровень звукового давления шума, излучаемого машиной, или уровень звука могут служить шумовой характеристикой машины, но только в том случае, если строго установлено место измерений этих величин относительно машины. Например, внешний шум автомобилей измеряют в децибелах на расстоянии 7,5 м от оси автомобиля.

Аналогичные требования установлены для измерений характеристик внешнего шума подвижного состава железных дорог. Шум измеряют на расстоянии 25 м от оси пути при скорости движения, равной 2/3 конструкционной скорости. В некоторых случаях шумовой характеристикой машины (как правило, небольших агрегатов) служат октавные уровни звукового давления или уровня звука, измеренные в свободном звуковом поле на расстоянии 1 м от наружного контура машины.

Шумовые характеристики обязательно устанавливают в стандартах или технических условиях на машины и указывают в их паспортах. Значения шумовых характеристик устанавливают исходя из требований обеспечения на рабочих местах, селитебной территории и в зданиях допустимых уровней шума.

Расчет ожидаемой шумовой характеристики является необходимой составной частью конструирования машины или транспортного средства.

Предельно допустимые шумовые характеристики (т.е. максимальный уровень звука внешнего шума при движении мимо точки измерений) некоторых средств транспорта приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Предельно допустимые шумовые характеристики некоторых средств транспорта

| Вид транспортного средства | Режим движения | Величина опорного радиуса, м | Допустимый уровень звука, дБ |
|-------------------------------------|--|------------------------------|------------------------------|
| Грузовые автомобили массой до 3,5 т | Вторая передача, скорость движения в начале измерительного участка $\frac{3}{4}$ максимальной или 50 км/ч (берется наименьшая), режим максимального газа | 7,5 | 85 |
| То же с массой от 3,5 до 12 т | То же | 7,5 | 89 |
| Легковые автомобили | То же | 7,5 | 84 |
| Магистральные тепловозы | Скорость $\frac{2}{3}$ конструкционной | 25 | 84 |
| Маневровые тепловозы | То же | 25 | 78 |

Шумовыми характеристиками движущихся поездов являются эквивалентные уровни звука в децибелах на расстоянии 7,5 м от оси колеи, ближней к расчетной точке.

4 Расчет ожидаемого уровня шума и требуемой эффективности мероприятий по шумоглушению

Снизить шум в источнике его возникновения таким образом, чтобы на рабочем месте он не превышал допустимого, при современном уровне развития техники удается далеко не всегда. Поэтому приходится принимать меры для уменьшения шума на путях его распространения между источником и рабочим местом.

Зная шумовую характеристику машины или транспортного средства и произведя акустический расчет, можно найти величину октавного уровня звукового давления или эквивалентного уровня звука на рабочем месте. Если этот уровень превышает допустимый, необходимо определить требуемое снижение шума посредством мероприятий по шумоглушению.

Ожидаемые уровни звукового давления в расчетной точке определяют по формулам, выводимым из закона сохранения энергии.

Пусть имеются источник шума 1 (рисунок 1) с октавной звуковой мощностью P и рабочее место (расчетная точка в помещении) 4, для которого необходимо рассчитать уровень звукового давления 1.

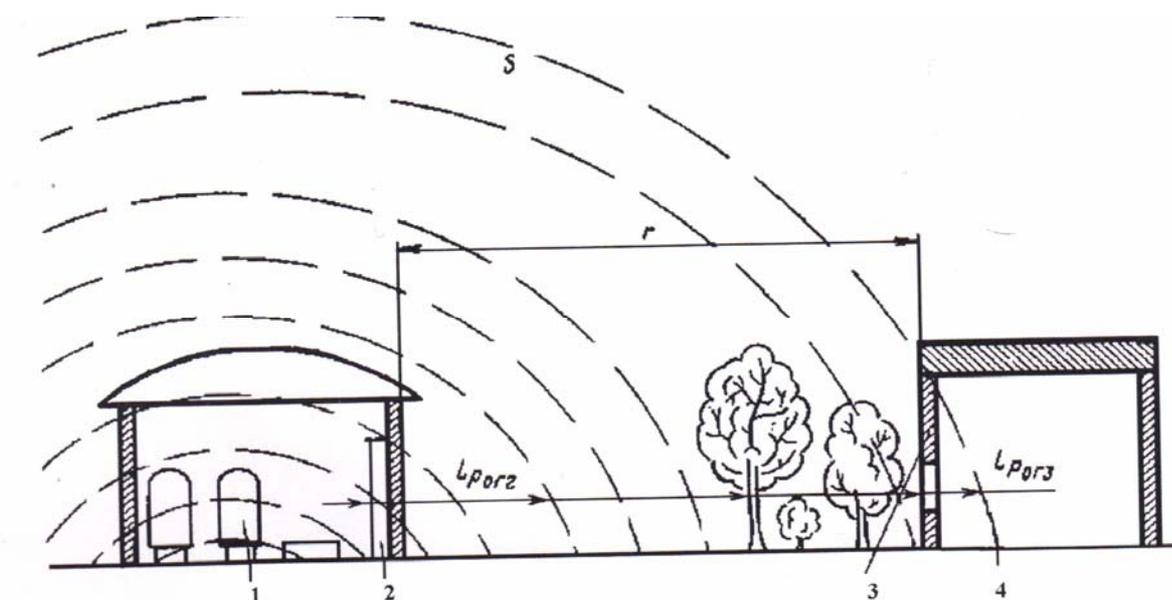


Рисунок 1 - Схема к выводу основного уравнения акустического расчета

Звуковая энергия, излучаемая источником шума, распределяется по замкнутой поверхности S , окружающей источник и проходящей через расчетную точку. По пути эта энергия ослабляется в β раз вследствие потерь в ограждениях 2 и 3, атмосфере, зеленых насаждениях и т.п. Поэтому интенсивность звука в расчетной точке с учетом направленности источника составит ($\text{Вт}/\text{м}^2$)

$$I = P\Phi / \beta S \quad (18)$$

Основная формула акустического расчета имеет вид (19):

$$L = L_1 = L_p + 10 \lg \frac{S}{S_0} - \Delta L_p, \quad (19)$$

где L_p - уровень звуковой мощности шума, дБ; S_0 - единичная площадь, равная 1 м^2 ; $\Delta L_p = 10 \lg \beta$ - ослабление звуковой энергии по пути от источника шума до расчетной точки за счет ее отражения и перехода в другие формы энергии (как правило, в теплоту), дБ.

Исходя из этой формулы можно определить основные направления борьбы с шумом техническими средствами.

К ним относятся:

1) уменьшение звуковой мощности источника;
 2) использование направленности источника (или выходного отверстия присоединенного к источнику трубопровода) таким образом, чтобы максимум характеристики направленности был обращен либо вверх, либо в сторону зданий или участка местности, для которых допустимый уровень шума наиболее высок или не нормируется;

3) увеличение площади замкнутой поверхности S , на которую распределяется звуковая мощность источника, что достигается при помощи архитектурно-планировочных решений (источники шума следует размещать как можно дальше от рабочих мест);

4) увеличение ослабления звуковой энергии ΔL_p между источником шума и рабочим местом посредством звукоизолирующих преград (стены, перекрытия, кожуха, кабины наблюдения и т.п.), звукопоглощающих облицовок и звукопоглощающих конструкций, экранов, глушителей, виброизоляторов. Возможно применение шумоглушающих устройств с отрицательной обратной акустической связью (подавление шума обеспечивается таким же шумом, подаваемым в противоположной фазе при помощи радиотехнических средств с проходящим на рабочее место внешним шумом). Средства индивидуальной защиты также увеличивают ΔL_p .

Формула (1) имеет общий характер и выведена из закона сохранения энергии для акустических явлений. В различных конкретных случаях ее можно привести к тому или иному виду, удобному для практических расчетов.

Определив октавные уровни L на рабочем месте расчетом или путем измерений, находят требуемую эффективность мероприятий по снижению шума для каждой октавной полосы

$$\Delta L_{\text{треб}} = L - L_{\text{дон}}, \quad (19)$$

где $L_{\text{дон}}$ - допустимый уровень звука.

5 Звукоизоляция и звукопоглощение

Звукоизоляция конструкции (перегородки, стены, окна и т.п.) как физическая величина равна ослаблению интенсивности звука при прохождении его через эту конструкцию (20)

$$R = 10 \lg(I_{\text{пад}} / I_{\text{прош}}), \quad (20)$$

где R – физическое значение звукоизоляции конструкции, дБ;

$I_{\text{пад}}$ – интенсивность падающего звука, дБ;

$I_{\text{прош}}$ – интенсивность прошедшего звука, дБ.

В то же время звукоизоляцией называют сумму мероприятий по снижению прохождения звука через конструкцию. Различают звукоизоляцию от воздушного шума, когда колебания конструкции возбуждаются звуковыми волнами, падающими на нее из воздуха, и звукоизоляцию от структурного (ударного) шума, когда колебания конструкции возбуждаются непосредственным механическим воздействием (вибрацией установленной на ней машины, ходьбой и т.п.).

Чтобы защитить от шума обслуживающий персонал, на производственных участках с шумными технологическими процессами или особо шумным оборудованием устраивают кабины наблюдения и дистанционного управления.

Наиболее простым и дешевым способом снижения шума в производственных помещениях является устройство звукоизолирующих кожухов, полностью закрывающих наиболее шумные агрегаты.

Шум снижается за счет применения звукопоглощающих материалов. Звукопоглощающими называют материалы и конструкции, способные поглощать энергию падающего на них воздушного звука. Это, как правило, конструкции, состоящие из пористых материалов. Их применяют либо в виде облицовок внутренних поверхностей помещений, либо в виде самостоятельных конструкций – штучных поглотителей, обычно подвешиваемых к потолку. В качестве штучных поглотителей используют также драпировки, мягкие кресла и т.п.

Поверхность звукопоглощающей облицовки характеризуется коэффициентом звукопоглощения α , равным отношению интенсивности поглощенного звука к интенсивности падающего

$$\alpha = I_{\text{погл}} / I_{\text{пад}}. \quad (21)$$

Коэффициент звукопоглощения зависит от вида материала, его толщины, пористости, крупности зерен или диаметра волокон, наличия за слоем материала воздушного промежутка и его ширины, частоты и угла падения звука, размеров звукопоглощающих конструкций и т.д. Для открытого окна $\alpha=1$ на всех частотах. Коэффициенты звукопоглощения некоторых материалов приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Коэффициенты звукопоглощения некоторых материалов.

| Изделие или конструкция | Толщина слоя материала изделия, мм | Воздушный зазор, мм | Коэффициент звукопоглощения при среднегеометрических частотах октавных полос, Гц | | | | | | | |
|--|------------------------------------|---------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Плиты минераловатные, акустические То же бетонная конструкция, оштукатуренная и окрашенная масляной краской | 20 | 0 | 0,02 | 0,03 | 0,17 | 0,68 | 0,98 | 0,86 | 0,45 | 0,20 |
| | 20 | 50 | 0,02 | 0,05 | 0,42 | 0,98 | 0,90 | 0,79 | 0,45 | 0,19 |
| | - | - | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |

Звукопоглощением поверхности ограждения A в квадратных метрах на данной частоте называют произведение площади ограждения S на ее коэффициент звукопоглощения α

$$A = \alpha S \quad (22)$$

Звукопоглощение помещения складывается из суммы звукопоглощений поверхностей и звукопоглощений A_j штучных поглотителей

$$A_{ном} = \sum_1^n \alpha_i S_i + \sum_1^m A_j, \quad (23)$$

где n - число поверхностей; m - число штучных поглотителей.
Постоянной B помещения называют величину

$$B = A_{ном} / (1 - \bar{\alpha}), \quad (24)$$

где $\bar{\alpha}$ - средний коэффициент звукопоглощения, составляющий

$$\bar{\alpha} = A_{ном} / \sum_1^n S_i. \quad (25)$$

Обычно принимают, что звуковая мощность источника шума не изменяется после устройства звукопоглощающих конструкций. Поэтому эффект снижения шума звукопоглощающей облицовкой в децибелах определяют вдали от источника шума в отраженном звуковом поле по формуле 26:

$$\Delta L_{обл} = 10 \lg(B_2 / B_1), \quad (26)$$

где B_1, B_2 – постоянная помещения соответственно до и после осуществления акустических мероприятий.

Требуемое снижение уровня звукового давления может быть обеспечено применением только звукопоглощающих конструкций, если в расчетных точках в отраженном звуковом поле это снижение не превышает 10-12 дБ, а в расчетных точках на рабочих местах 4-5 дБ. В случаях, когда согласно расчету необходимо большее снижение, помимо звукопоглощающих конструкций предусматривают дополнительные средства защиты от шума.

Для защиты работающих от действия прямого шума источника применяют экраны. Они образуют звуковую тень. Ее размеры зависят от соотношений между размерами экрана и длиной падающей звуковой волны, а также от расстояния между экраном и экранируемым рабочим местом. Эффективность экрана можно определить методом Реттингера, для чего определяют критерий затухания M :

а) при расположении источника шума и рабочего места на одном уровне

$$M = 1,414h / \sqrt{\lambda} \sqrt{(x+y)/xy}, \quad (27)$$

где h – расстояние от источника шума до вершины экрана, м;

x, y – расстояние от экрана до источника шума и до расчетной точки, м;

λ – длина волны, м.

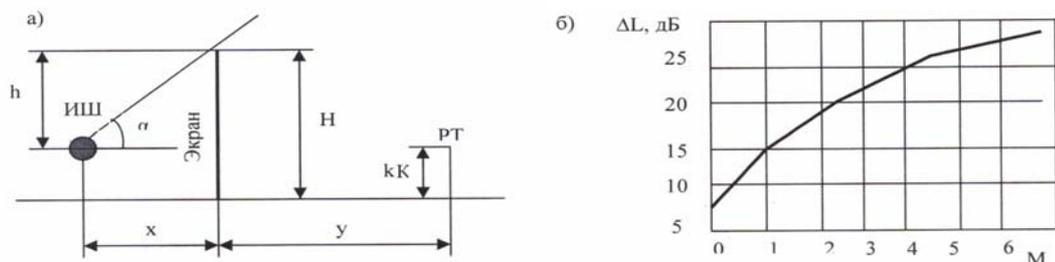
б) при расположении источника шума и рабочего места в разных уровнях

$$M = \left[H + \frac{y(H-h)}{x} - \kappa \right] \sqrt{\frac{2x \cos \alpha}{\lambda y(x+y)}}, \quad (28)$$

где H – высота экрана, м;

κ – высота расчетной точки от поверхности земли, м.

Определив значение критерия M , по графику (рисунок 2б) находят эффективность экрана ΔL .



a – схема к расчету снижения шума экраном;

ИШ – источник шума; *РТ* – расчетная точка; *h* – расстояние от источника шума до вершины экрана; *H* – высота экрана, м; *k* – высота расчетной точки от поверхности земли, м; *x, y* – расстояние экрана до источника шума и расчетной точки;

b – зависимость эффективности экрана от критерия *M*.

Рисунок – 2 - Расчет эффективности экрана

Область тени за экраном тем меньше, чем больше длина волны λ , так как за счет эффекта дифракции длинные волны легко огибают экраны. По этой причине экраны применяют в основном для защиты от средне- и высокочастотного шума.

Пример выполнения расчета

Расчетные уровни звукового давления *L* в октавных полосах частот на погрузочно-разгрузочной площадке грузового двора и предельный спектр в зоне жилой застройки (на расстоянии $y=30$ м) заданы в таблице 4.

Таблица 4 - Расчетные уровни звукового давления *L* в октавных полосах частот на погрузочно-разгрузочной площадке грузового двора и предельный спектр в зоне жилой застройки

| Наименование показателя | Значение | | | | | | | |
|---|----------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1 000 | 2 000 | 4 000 | 8 000 |
| Среднегеометрическая частота, Гц | 60 | 62 | 60 | 55 | 51 | 50 | 46 | 38 |
| Уровень звукового давления, дБ, на погрузочной площадке | 67 | 57 | 49 | 44 | 40 | 37 | 35 | 33 |
| Предельный спектр в зоне жилой застройки | | | | | | | | |

Определить, будет ли обеспечено снижение шума до нормируемого значения, если построить забор из железобетонных панелей высотой $H = 3$ м. Расчетная точка PT в зоне жилой застройки и источники шума $ИШ$ расположены на одном уровне.

Расстояние от экрана до наиболее удаленного $ИШ$ (ширина погрузочно-разгрузочной площадки) $x = 20$ м

Вычертим поперечный разрез места расположения $ИШ$, экрана и PT (рисунок 3).

Сначала определим критерий M , по которому из графика на рисунок 2, б находим величину снижения шума ΔL . Расчет представим в следующей таблице:

Таблица 5 – Расчет

| Наименование показателя | Значение | | | | | | | |
|--|----------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц | | | | | | | | |
| λ , м | 5,4 | 2,72 | 1,36 | 0,68 | 0,34 | 0,17 | 0,085 | 0,043 |
| M | 0,18 | 0,25 | 0,35 | 0,49 | 0,7 | 0,99 | 1,4 | 1,97 |
| L , дБ | 60 | 62 | 60 | 55 | 51 | 50 | 46 | 38 |
| ΔL , дБ | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 14 | 17 | 18 |
| $L - \Delta L$, дБ | 53 | 54 | 51 | 45 | 39 | 36 | 29 | 19 |
| L по Пс-40, дБ | 67 | 57 | 49 | 44 | 40 | 37 | 35 | 33 |
| Превышение нормы, дБ | - | - | 2 | 1 | - | - | - | - |

Превышения нормы, зафиксированные в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 250 и 500 Гц, лежат в пределах точности измерений. Поэтому практически можно считать, что применение экрана позволило снизить уровень шума в зоне жилой застройки до нормы.

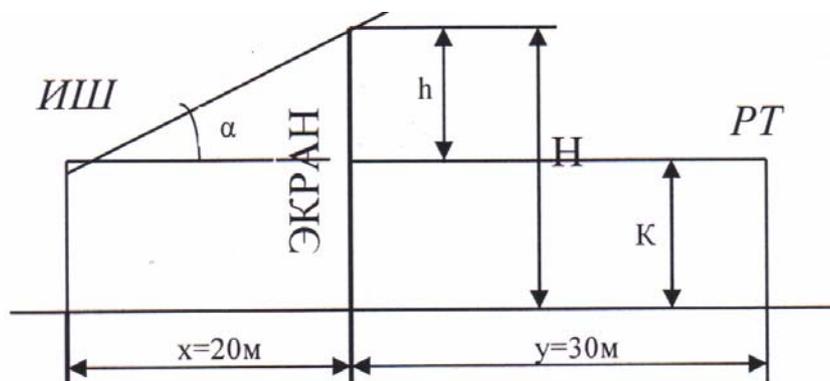


Рисунок 3 - Схема расположения экрана относительно источника шума $ИШ$ и расчетной точки PT .

6 Задание для выполнения самостоятельной работы

1. Подготовиться теоретически по следующим вопросам:

- а) определение шума;
 - б) основные физические параметры, характеризующие шум;
 - в) спектр шума;
 - г) действие шума на человека и его нормирование;
 - д) источники шума и его характеристики;
 - е) звукоизоляция;
 - ж) защитные экраны.
2. Выполнить расчет по варианту.

Задание для расчета

Произвести проверочный расчет снижения уровня шума в помещении дежурного персонала со стороны погрузочно-разгрузочной площадки грузового двора за счет экрана (постройки сплошного забора из железобетонных панелей). Исходные данные для выполнения расчета приведены в таблице 6.

Указания к решению задачи

1. Вычертить расчетную схему.
2. Принять, что расчетная точка и источник шума расположены в одном уровне.
3. Допустимый уровень принять по предельному спектру ПС-60.
4. Недостающие данные принять самостоятельно.
5. Определить:
 - а) критерии М;
 - б) по графику установить величину снижения шума;
 - в) уровни шума с учетом их снижения.
6. Сравнить полученные уровни шума с предельно допустимыми и сделать выводы.

Таблица 6 - Исходные данные для выполнения расчета

| Исходные данные | ВАРИАНТЫ | | | | | | | | | |
|---|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Расстояние от экрана, м: | | | | | | | | | | |
| До источника | 20 | 25 | 15 | 20 | 25 | 15 | 20 | 25 | 15 | 20 |
| До помещения | 20 | 30 | 25 | 25 | 20 | 20 | 30 | 25 | 30 | 18 |
| Уровни звукового давления на погрузочно-разгрузочной площадке, дБ, при среднегеометрических частотах, Гц: | | | | | | | | | | |
| 63 | 79 | 72 | 87 | 65 | 91 | 100 | 91 | 65 | 87 | 72 |
| 125 | 79 | 88 | 95 | 70 | 92 | 93 | 92 | 70 | 95 | 88 |
| 250 | 70 | 83 | 94 | 80 | 87 | 79 | 87 | 80 | 94 | 83 |
| 500 | 69 | 77 | 91 | 85 | 84 | 70 | 84 | 85 | 91 | 77 |
| 1000 | 74 | 75 | 95 | 90 | 82 | 68 | 82 | 90 | 95 | 75 |
| 2000 | 63 | 73 | 88 | 93 | 82 | 62 | 82 | 93 | 88 | 73 |
| 4000 | 52 | 70 | 78 | 102 | 77 | 57 | 77 | 102 | 78 | 70 |
| 8000 | 50 | 65 | 72 | 91 | 70 | 50 | 70 | 91 | 72 | 65 |
| Высота экрана, м | 2,50 | 2,75 | 3,00 | 3,25 | 3,50 | 3,50 | 3,25 | 3,00 | 2,75 | 2,50 |

7 Контрольные вопросы

- 7.1 Назвать физические характеристики шума.
- 7.2 Как классифицируются шумы по природе происхождения, а также по спектральным и временным характеристикам?
- 7.3 Пояснить принципы нормирования производственного шума.
- 7.4 Как нормируются постоянные и не постоянные шумы на рабочих местах?
- 7.5 Назвать основные средства и методы борьбы с шумом.
- 7.6 Назвать источники шума и их шумовые характеристики.
- 7.7 Пояснить эффекты звукоизоляции и звукопоглощения.
- 7.8 Чем определяется звукоизолирующие свойства преград?

Список использованных источников

- 1 Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / под ред. С.В. Белова. – 4-е изд., испр. и доп. – М. : Высшая школа, 2004 – 606 с.
- 2 Бобин, Е.В. Борьба с производственным шумом и вибрацией на железнодорожном транспорте / Е.В. Бобин. – М. : Транспорт, 1973. – 204 с.
- 3 Охрана труда на железнодорожном транспорте / под ред. Ю.Г.Сибарова. – М. : Транспорт, 1981. – 287 с.
- 4 Бекасов, В.И. Охрана труда в грузовом хозяйстве железных дорог. – М. : Транспорт, 1984. – 182 с.
- 5 ГОСТ 12.1.003–83. «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» - Издание «февраль 2000». С изменением №1, утвержденным в декабре 1988г. «ИУС3-89» - М. : ИПК Издательство стандартов 2002. – 10с.
- 6 Санитарные нормы СН 2.2.4 / 2.1.8562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий на территории жилой застройки / Минздрав РФ. – М. : 1997 – 20с.
- 7 Расчет снижения уровня шума за счет экранирования : методические указания / Б.А. Анфилофьев, Е.А. Скачкова. – Самара : СГАПС, 2004. – 18 с.